



ESTUDO TÉCNICO E ECONÓMICO EM SISTEMAS DE BOMBAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS

FRANCISCA MARIA DOS SANTOS TAVARES FERREIRA DE FIGUEIREDO

novembro de 2019

ESTUDO TÉCNICO E ECONÓMICO EM SISTEMAS DE BOMBAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS

Francisca Maria dos Santos Tavares Ferreira de Figueiredo
1170270

2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

ESTUDO TÉCNICO E ECONÓMICO EM SISTEMAS DE BOMBAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS

Francisca Maria dos Santos Tavares Ferreira de Figueiredo
1170270

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para dar cumprimento parcial aos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Energias Sustentáveis, realizada sob a orientação do Professor Doutor Carlos Felgueiras. Relatório de estágio realizado na empresa EFACEC – Engenharia e Sistemas, S.A., sob a supervisão do Eng.º Ivo Leite.

2019

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

JÚRI

Presidente

Nídia de Sá Caetano

Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Manuel Carlos Malheiro de Carvalho Felgueiras

Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Supervisor

Eng.º Ivo Nuno Leite

Gestor de Contratos de Operação e Manutenção - Efacec

Arguente

António Augusto Areosa Martins

Investigador, LEPABE – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Dedico esta tese aos meus pais, por todo o apoio que me deram

“Todo o mundo é um génio. Mas se julgarmos um peixe pela sua capacidade de subir a árvores, ele viverá o resto da vida a acreditar que é um idiota” Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer às pessoas e entidades que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho:

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto, pelas condições oferecidas e pelos conhecimentos que me permitiu adquirir.

À Efaced pela oportunidade de realizar o estágio curricular, que permitiu contactar com o mundo do trabalho e aplicar os conhecimentos teóricos.

Ao Engenheiro Ivo Leite pela orientação e supervisão durante o estágio curricular.

Ao Engenheiro Bruno Silva por todo o auxílio prestado na realização do presente trabalho.

À Professora Doutora Nídia de Sá Caetano pela simpatia e disponibilidade demonstrada.

Ao Professor Doutor Carlos Felgueiras pela atenção, disponibilidade e orientação que guiaram e permitiram a concretização do presente trabalho.

Às minhas companheiras de mestrado Marina Sousa, Dora Ferraz e Lígia Leite, que partilharam comigo todos os momentos.

Às minhas amigas Sara Rodrigues, Joana Loureiro, Maria Inês, Inês Caria, Mariana Maia, Ana Campos e Joana Filipa que estão sempre dispostas a ouvir-me e a aconselhar-me.

À minha prima Beatriz Martins por sempre me ter apoiado.

Ao meu namorado por ter estado disponível em todos os momentos, apoiando-me e fazendo-me acreditar em mim.

A toda a minha família em especial à minha irmã, e aos meus pais, que desde sempre me ensinaram a lutar pelos meus sonhos, e que sei que estão sempre disponíveis para me ajudar.

PALAVRAS CHAVE

Estação de tratamento de águas residuais, estação elevatória, eficiência energética, bombas hidráulicas.

RESUMO

As estações de tratamento de águas residuais têm associadas estações elevatórias que têm de funcionar num regime muito intenso. Nestas instalações, uma das parcelas mais significativas é a correspondente ao consumo energético dos grupos de bombagem. O envelhecimento dos equipamentos e o aumento das necessidades de manutenção associado ao aparecimento de unidades de maior eficiência leva a que seja periodicamente importante avaliar a necessidade de substituição das unidades instaladas

O presente trabalho resulta do Estágio Curricular que a autora efetuou, durante o segundo semestre do ano letivo de 2018/2019 na Efacec – Engenharia e Sistemas, S.A. Nesta empresa, a autora foi integrada na equipa técnica, onde desenvolveu um estudo das estações elevatórias pertencentes aos subsistemas de saneamento do Ave e Vila do Conde Sul, com vista à redução dos custos de operação. Este trabalho inclui casos de estudo para diferentes instalações que incluiu o levantamento dos consumos energéticos de cada estação elevatória, e orçamentos de duas empresas fabricantes de estes equipamentos.

Chegou-se a conclusão que as bombas propostas pela empresa B tem um investimento inicial muito menor que as bombas propostas pela empresa A, por isso todas as bombas em que é conveniente a substituição, só é conveniente pela substituição das bombas pelas bombas propostas pela empresa B.

KEYWORDS

Wastewater treatment Stations, overhead stations, energy efficiency, hydraulic pumps.

ABSTRACT

Wastewater treatment plants have associated pumping stations that have to operate under a very intense regime.

In these installations, one of the most significant plots is the energy consumption of the pumping groups. The ageing of the equipment and the increased maintenance needs associated with the emergence of higher efficiency units makes it periodically important to evaluate the need to replace the installed units. This paper presents different case studies and for each of them, a survey was made. Energy consumption were the focus and solutions are proposed.

The present work results from the Curricular Internship that the author did during the second semester of the academic year 2018/2019 at Efacec - Engenharia e Sistemas, SA. In this company, the author was part of the technical team, where she developed a study on energy consumption of the pumping stations belonging to the Ave and Vila do Conde Sul sanitation subsystems, focused on reducing operating costs and improving their efficiency.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

AR	Águas Residuais
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
EE	Estação Elevatória
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
GB	Grupo de Bombagem
I	Corrente Elétrica
UV	Ultravioleta

Lista de Unidades

A	Ampère
V	Volt
W	Watt

GLOSSÁRIO

Agitação mecânica	Incorpora um agitador tipo hélice ou propulsores submersíveis no interior do digestor ou montados no seu topo como um eixo submerso.
Bomba hidráulica	Dispositivo que adiciona energia aos líquidos, tomando energia mecânica.
Caudalímetro	Instrumento que mede o caudal instantâneo de um fluido que passa numa determinada conduta, indicando-o num mostrador.
Centrífuga de lamas	Equipamento de desidratação de lamas.
Comporta de seccionamento	Porta que, quando fechada impede a entrada do efluente. É também designada de <i>comporta mural</i> .
Decantação	É o ato de separar por meio da gravidade, os sólidos sedimentáveis que estão contidos numa solução líquida. Os sólidos sedimentam na parte inferior do decantador e o efluente fica à superfície e livre de sólidos.
Eutrofização	Crescimento excessivo de plantas aquáticas, para níveis que afetam a normal utilização da água.
Fator de carga	Expressa a relação entre a anergia consumida, durante um dado período, e a energia consumida na hipótese de, durante o mesmo intervalo de tempo, se utilizar continuamente a carga máxima.
Flotar (Flotação)	Processo de separação que utiliza a diferença de densidade entre o material a ser separado e o meio líquido no qual esse está imerso. Os materiais com densidade menor tendem a elevar-se até a superfície do líquido, por ação da gravidade.
Gradagem	Permite retirar a montante das etapas seguintes a elevada carga de sólidos através de grades. Desta forma evitam-se problemas de manutenção como o desgaste e avaria de equipamentos.
Habitante equivalente	Representa a quantidade de poluição orgânica de um efluente líquido que é gerada por uma pessoa, a qual corresponde a uma carga biodegradável com carência bioquímica de oxigénio ao fim de 5 dias (CBO5), de 60g de oxigénio por dia. Assim é possível deduzir sobre a quantidade de habitantes que determinado efluente representa em termos de carga orgânica, sabendo que 1 habitante equivalente= 60g CBO5/dia.
Lamas ativadas	Baseia-se na oxidação da matéria orgânica, por bactérias aeróbias, controlada pelo excesso de oxigénio em tanques de arejamento e posteriormente direcionado aos decantadores. As lamas decantadas retornam ao taque de arejamento como forma

	de reativação da população de bactérias no tanque de arejamento.
Lamas primárias	Lamas obtidas da decantação primária.
Leito percolador ou leitos percoladores	É um sistema de tratamento de águas residuais por biomassa fixa. O biofilme que se forma no material irrigado pelo efluente vai aumentando até que este tenha a espessura necessária para que as camadas inferiores entrem em anaerobiose.
Motor	Dispositivo que converte outras formas de energia em energia mecânica, de forma a induzir movimento de uma máquina ou veículo.
Tamisagem	Desgaste dos sólidos grosseiros transportados nas águas residuais reduzindo a sua granulometria, e dessa forma uniformizar a água.
Válvula de cunha	É uma válvula que se abre através da abertura de uma <i>cunha</i> . Também designada como <i>gaveta</i> .
Válvula de retenção	É um dispositivo mecânico que apenas permite o escoamento de um fluido numa direção.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – ASPETO DA ENTRADA DAS INSTALAÇÕES DA EFA-ACEC	3
FIGURA 2 - ATUAL LOGOTIPO DE EFACEC	3
FIGURA 3 – UNIDADE DE AMBIENTE E INDÚSTRIA DA EFACEC LOCALIZADA NA MAIA	4
FIGURA 4 – EXEMPLO DA TOMADA DE INÍCIO DAS ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS	9
FIGURA 5 - ÁGUAS RESIDUAIS URBANAS	10
FIGURA 6 - FITO-ETAR COM PLANTAS FIXAS EMERGENTES DE ESCOAMENTO SUB SUPERFICIAL VERTICAL [12].....	11
FIGURA 7 - ESQUEMA GERAL PARA O PROCESSO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS EM ETAR.	12
FIGURA 8 – SISTEMA UTILIZADO PARA REALIZAR A GRADAGEM.....	13
FIGURA 9 - ESQUEMA DE ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE SANEAMENTO [16].....	17
FIGURA 10 - DIAGRAMA LINEAR EE IDEAL.....	18
FIGURA 11 - ROTOR FECHADO	19
FIGURA 12 - ROTOR ABERTO	20
FIGURA 13 – REPRESENTAÇÃO EM CORTE DE BOMBA DE ASPIRAÇÃO SIMPLES.....	22
FIGURA 14: POSTES DE ALTA TENSÃO	23
FIGURA 15 – NO PRIMEIRO GRÁFICO APRESENTA-SE A CORRENTE CONTÍNUA E NO SEGUNDO GRÁFICO A CORRENTE ELÉTRICA ALTERNADA	25
FIGURA 16 - ETAR DO AVE- 23 DE OUTUBRO 2014	32
FIGURA 17 - PARAFUSO DE ARQUIMEDES UTILIZADO PARA ELEVAR A ÁGUA.....	32
FIGURA 18: REATOR BIOLÓGICO	33
FIGURA 19 - ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS PERTENCENTES AO SUBSISTEMA DE SANEAMENTO DO AVE	34
FIGURA 20 - DIAGRAMA LINEAR EE VILA DO CONDE	35
FIGURA 21 - ETAR DE MATOSINHOS [32]	37
FIGURA 22 - ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS PERTENCENTES AO SUBSISTEMA DE SANEAMENTO DE VILA DO CONDE SUL E DO EMISSÁRIO DO CABO DO MUNDO QUE BOMBEIAM PARA A ETAR DE MATOSINHOS	38
FIGURA 23 - DIAGRAMA LINEAR EE VILA CHÃ.....	39
FIGURA 24 - DIAGRAMA LINEAR EE MOREIRÓ/LABRUGE	41
FIGURA 25 - DIAGRAMA LINEAR EE LABRUGE.....	43
FIGURA 26 - ORDEM PELA QUAL FORAM EFETUADOS OS CÁLCULOS	50
FIGURA 27 – A) ECONOMIA ENERGÉTICA ANUAL BOMBA 1 EE VILA DO CONDE, B) PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTOS BOMBA 1 EE VILA DO CONDE	63
FIGURA 28 A) ECONOMIA ENERGÉTICA ANUAL BOMBA 3 EE VILA DO CONDE; B) PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTOS BOMBA 3 EE VILA DO CONDE	64

FIGURA 29 A) ECONOMIA ENERGÉTICA ANUAL BOMBA 1 EE VILA CHÃ; B) PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTOS BOMBA 1 EE VILA CHÃ	65
FIGURA 30 -A) ECONOMIA ENERGÉTICA ANUAL BOMBA 2 EE VILA CHÃ; B) PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTOS BOMBA 2 EE VILA CHÃ	65
FIGURA 31 A)ECONOMIA ENERGÉTICA ANUAL BOMBA 1 EE MOREIRÓ/LABRUGE; B) PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTOS BOMBA 1 EE MOREIRÓ LABRUGE	66
FIGURA 32 A) ECONOMIA ENERGÉTICA ANUAL BOMBA 2 EE MOREIRÓ/LABRUGE; B) PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTOS BOMBA 2 EE MOREIRÓ LABRUGE	67
FIGURA 33 A) ECONOMIA ENERGÉTICA ANUAL BOMBA 1 EE LABRUGE; B) PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTOS BOMBA 1 EE LABRUGE	68
FIGURA 34 A) ECONOMIA ENERGÉTICA ANUAL BOMBA 2 EE LABRUGE; B) PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTOS BOMBA 2 EE LABRUGE	69
FIGURA 35 A) ECONOMIA ENERGÉTICA ANUAL BOMBA 3 EE LABRUGE, B) PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTOS BOMBA 3 EE LABRUGE	69

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES DOS GRUPOS ELETROBOMBA INSTALADOS NA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE VILA DO CONDE	36
TABELA 2 - PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES DOS GRUPOS ELETROBOMBA INSTALADOS NA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE VILA CHÃ	40
TABELA 3 - PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES DOS GRUPOS ELETROBOMBA INSTALADOS NA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE MOREIRÓ/LABRUGE	42
TABELA 4 - PRINCIPAIS ESPECIFICAÇÕES DOS GRUPOS ELETROBOMBA INSTALADOS NA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE LABRUGE	44
TABELA 5 - PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTO DAS BOMBAS PROPOSTAS PARA A BOMBA 1 DA EE VILA DO CONDE	51
TABELA 6 - PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTO DAS BOMBAS PROPOSTAS PARA A BOMBA 3 DA EE VILA DO CONDE	52
TABELA 7 - PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTO DAS BOMBAS PROPOSTAS PARA A BOMBA 1 DA EE VILA CHÃ	53
TABELA 8 - PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTO DAS BOMBAS PROPOSTAS PARA A BOMBA 2 DA EE VILA DO CHÃ	54
TABELA 9 - PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTO DAS BOMBAS PROPOSTAS PARA A BOMBA 1 DA EE MOREIRÓ/LABRUGE	55
TABELA 10 - PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTO DAS BOMBAS PROPOSTAS PARA A BOMBA 2 DA EE MOREIRÓ/LABRUGE	56
TABELA 11 - PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTO DAS BOMBAS PROPOSTAS PARA A BOMBA 1 DA EE LABRUGE	57
TABELA 12 - PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTO DAS BOMBAS PROPOSTAS PARA A BOMBA 2 DA EE LABRUGE	58
TABELA 13 - PERÍODO DE RETORNO DE INVESTIMENTO DAS BOMBAS PROPOSTAS PARA A BOMBA 3 DA EE LABRUGE	59
TABELA 14 - ANÁLISE GLOBAL DA EE VILA DO CONDE	64
TABELA 15 - ANÁLISE GLOBAL DA EE VILA CHÃ	66
TABELA 16 - TABELA ANÁLISE GLOBAL DA EE MOREIRÓ/LABRUGE	68
TABELA 17 - ANÁLISE GLOBAL DA EE LABRUGE	70
TABELA 18 - ESPECIFICAÇÕES DO GRUPO ELETROBOMBA PROPOSTO PELA EMPRESA A	83
TABELA 19 - ESPECIFICAÇÕES DO GRUPO ELETROBOMBA PROPOSTO PELA EMPRESA B	84
TABELA 20 - VALORES DE POTÊNCIA DA BOMBA 1 DA EE DE VILA DO CONDE PROVENIENTES DO ANALISADOR DE ENERGIA, MEDIDOS DE MINUTO EM MINUTO DURANTE O DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2019 APÓS A ELIMINAÇÃO DOS VALORES INFERIORES A 75% DO MÁXIMO REGISTRADO	85

TABELA 21 - VALORES DE POTÊNCIA DA BOMBA 3 DA EE DE VILA DO CONDE PROVENIENTES DO ANALISADOR DE ENERGIA, MEDIDOS DE MINUTO EM MINUTO DURANTE O DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2019 APÓS A ELIMINAÇÃO DOS VALORES INFERIORES A 75% DO MÁXIMO REGISTRADO.....	86
TABELA 22 - ESPECIFICAÇÕES DO GRUPO ELETROBOMBA PROPOSTO PELA EMPRESA A	90
TABELA 23 - ESPECIFICAÇÕES DO GRUPO ELETROBOMBA PROPOSTO PELA EMPRESA B	91
TABELA 24 - VALORES DE POTÊNCIA DA BOMBA 1 DA EE DE VILA CHÃ PROVENIENTES DO ANALISADOR DE ENERGIA, MEDIDOS DE MINUTO EM MINUTO DURANTE O DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2019 APÓS A ELIMINAÇÃO DOS VALORES INFERIORES A 75% DO MÁXIMO REGISTRADO.....	92
TABELA 25 - VALORES DE POTÊNCIA DA BOMBA 2 DA EE DE VILA CHÃ PROVENIENTES DO ANALISADOR DE ENERGIA, MEDIDOS DE MINUTO EM MINUTO DURANTE O DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2019 APÓS A ELIMINAÇÃO DOS VALORES INFERIORES A 75% DO MÁXIMO REGISTRADO.....	93
TABELA 26 - ESPECIFICAÇÕES DO GRUPO ELETROBOMBA PROPOSTO PELA EMPRESA A	97
TABELA 27 - ESPECIFICAÇÕES DO GRUPO ELETROBOMBA PROPOSTO PELA EMPRESA B	98
TABELA 28 - VALORES DE POTÊNCIA DA BOMBA 1 DA EE DE MOREIRÓ/LABRUGE PROVENIENTES DO ANALISADOR DE ENERGIA, MEDIDOS DE MINUTO EM MINUTO DURANTE O DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2019 APÓS A ELIMINAÇÃO DOS VALORES INFERIORES A 75% DO MÁXIMO REGISTRADO.....	99
TABELA 29 - ESPECIFICAÇÕES DO GRUPO ELETROBOMBA PROPOSTO PELA EMPRESA A	100
TABELA 30 - ESPECIFICAÇÕES DO GRUPO ELETROBOMBA PROPOSTO PELA EMPRESA B	101
TABELA 31 - VALORES DE POTÊNCIA DA BOMBA 1 DA EE DE LABRUGE PROVENIENTES DO ANALISADOR DE ENERGIA, MEDIDOS DE MINUTO EM MINUTO DURANTE O DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2019 APÓS A ELIMINAÇÃO DOS VALORES INFERIORES A 75% DO MÁXIMO REGISTRADO.....	101
TABELA 32 - VALORES DE POTÊNCIA DA BOMBA 2 DA EE DE LABRUGE PROVENIENTES DO ANALISADOR DE ENERGIA, MEDIDOS DE MINUTO EM MINUTO DURANTE O DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2019 APÓS A ELIMINAÇÃO DOS VALORES INFERIORES A 75% DO MÁXIMO REGISTRADO.....	102
TABELA 33 - VALORES DE POTÊNCIA DA BOMBA 3 DA EE DE LABRUGE PROVENIENTES DO ANALISADOR DE ENERGIA, MEDIDOS DE MINUTO EM MINUTO DURANTE O DIA 28 DE FEVEREIRO DE 2019 APÓS A ELIMINAÇÃO DOS VALORES INFERIORES A 75% DO MÁXIMO REGISTRADO.....	103

ÍNDICE

1	<i>Introdução</i>	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Estrutura da tese	2
1.4	Apresentação da Empresa	2
2	<i>Estado da Arte</i>	7
2.1	Águas residuais	7
2.2	Tratamento de Águas Residuais	10
2.3	Estações de Tratamento de Águas Residuais	12
2.3.1	Fase Líquida	13
2.3.2	Fase Sólida	15
2.4	Estações Elevatórias	16
2.4.1	Estação Elevatória do Ponto de Vista Ideal	18
2.5	Tipos de Bombas	19
2.6	Energia	23
2.6.1	Potência	24
2.6.2	Corrente Elétrica	24
2.6.3	Variadores de Velocidade	25
2.7	Gestão de Energia e Eficiência Energética	25
2.7.1	Estratégias de Redução dos Custos Através da Energia Elétrica	27
3	<i>Casos de Estudos</i>	31
3.1	ETAR do Ave	31
3.1.1	Caso 1: Estação Elevatória Vila do Conde	35
3.2	ETAR de Matosinhos	37
3.2.1	Caso 2: Estação Elevatória Vila Chã	39
3.2.2	Caso 3: Estação Elevatória Moreiró/Labruge	40
3.2.3	Caso 4: Estação Elevatória Labruge	42
4	<i>Proposta de solução</i>	47

4.1	EE Vila do Conde.....	51
4.1.1	Bomba 1.....	51
4.1.2	Bomba 3.....	52
4.2	EE Vila Chã	53
4.2.1	Bomba 1.....	53
4.2.2	Bomba 2.....	54
4.3	EE Moreiró/Labruge	55
4.3.1	Bomba 1.....	55
4.3.2	Bomba 2.....	56
4.4	EE Labruge.....	57
4.4.1	Bomba 1.....	57
4.4.2	Bomba 2.....	58
4.4.3	Bomba 3.....	59
5	<i>Análise Técnico Económica</i>	63
5.1	EE Vila do Conde.....	63
5.1.1	Bomba 1.....	63
5.1.2	Bomba 3.....	64
5.2	EE Vila Chã	65
5.2.1	Bomba 1.....	65
5.2.2	Bomba 2.....	65
5.3	EE Moreiró/Labruge	66
5.3.1	Bomba 1.....	66
5.3.2	Bomba 2.....	67
5.4	EE Labruge.....	68
5.4.1	Bomba 1.....	68
5.4.2	Bomba 2.....	69
5.4.3	Bomba 3.....	69
6	<i>Conclusões</i>	73
	<i>Referências Bibliográficas.....</i>	77
7	<i>Anexos.....</i>	83
7.1	Anexo 1 – Vila do Conde	83
7.1.1	Bomba 1.....	85
7.1.2	Bomba 3.....	86
7.2	Anexo 2- Vila Chã.....	90
7.2.1	Bomba 1.....	92
7.2.2	Bomba 2.....	93
7.3	Anexo 3 – Moreiró/Labruge	97
7.3.1	Bomba 1.....	99

7.4	Anexo 4 – Labruge	100
7.4.1	Bomba 1.....	101
7.4.2	Bomba 2.....	102
7.4.3	Bomba 3.....	103

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.2 OBJETIVOS

1.3 ESTRUTURA DA TESE

1.4 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

1 Introdução

1.1 Contextualização

O presente relatório cumpre os requisitos estabelecidos na ficha da unidade curricular de DPEST (Dissertação/ Projeto/ Estágio) do Mestrado em Energias Sustentáveis do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

A autora realizou um estágio curricular na empresa Efacec – Engenharia e Sistemas, S.A.

1.2 Objetivos

As estações elevatórias são instalações industriais que constituem parte do processo de tratamento de águas residuais. Estas unidades têm um regime de funcionamento muito intensivo tendo, portanto, um consumo de energia elétrica muito elevado.

O objetivo deste trabalho, consiste em estudar os consumos energéticos das estações elevatórias pertencentes aos subsistemas de saneamento do Ave e Vila do Conde Sul, e propor soluções alternativas. Para isso, serão analisados os dados de cada uma das estações elevatórias. Uma possibilidade passa por realizar um estudo sobre os diferentes tipos de bombas existentes para possível substituição. O maior consumo de energia nestas instalações pertence aos grupos de bombagem pelo que se torna pertinente o estudo conducente à diminuição dos consumos energéticos e pela eventual substituição por grupos de bombagem mais eficientes. A diminuição da fatura energética pode ainda ser atingida através da produção própria de energia proveniente de fontes renováveis.

1.3 Estrutura da tese

Este trabalho é naturalmente um pouco extenso, pelo que a melhor forma de o apresentar consiste numa estrutura em vários capítulos e organizado como de seguida se descreve.

No Capítulo 1, será apresentada uma breve contextualização sobre Estações de Tratamento de Águas Residuais e também sobre estações Elevatórias. São também expostos os objetivos do presente relatório bem como a apresentação da empresa onde foi realizado o estágio curricular.

No Capítulo 2, expõe-se o Estado de Arte, com abordagens sobre águas residuais, Estações de Tratamento de Águas Residuais, Estações Elevatórias, diferentes tipos de bombas utilizadas em estações elevatórias e gestão de energia e eficiência energética.

No Capítulo 3, são apresentados os diferentes casos de estudo, com uma caracterização geral de cada um. O mesmo inclui também a apresentação de dados e resultados obtidos para cada estação elevatória.

O Capítulo 4, integra as propostas de solução para os diferentes casos de estudo. São apresentadas as propostas de solução mais apropriadas para cada uma das Estações Elevatórias.

No Capítulo 5 inclui a análise técnico económica relativa às bombas propostas.

O Capítulo 6 conclui este trabalho.

O Capítulo 7 lista as diferentes referências bibliográficas.

1.4 Apresentação da Empresa

O estágio curricular foi realizado na Efacec, uma empresa portuguesa com um grande perfil exportador e que está presente em mais de 60 países tendo associada a marca com quase 70 anos. A origem desta empresa remonta à fundação da *A moderna Sociedade de Serração Mecânica* em 1905. Em 1921 transformou-se na *Electro Moderna Lda.*, empresa já dedicada à produção de motores geradores e acessórios elétricos. O nome EFACEC- Empresa Fabril de Máquinas Eléctricas, SARL nasceu em 1962

caraterizando-se como um ano de bastante crescimento [1]. A Figura 1 apresenta a entrada das antigas instalações da EFAACEC.



Figura 1 – Aspeto da entrada das instalações da EFA-ACEC

A 14 de Agosto de 2014 foi constituída a Efacec Power Solutions, SA (EPS), tendo como objetivo a gestão de participações sociais como forma indireta de exercício de atividades económicas. No final de 2014 a Efacec Power Solutions passou a constituir, um grupo de empresas que reúne todos os meios de produção, tecnologias e competências técnicas e humanas para o desenvolvimento de diferentes atividades nomeadamente, Energia, Engenharia, Ambiente, Transportes e Mobilidade Elétrica. A Efacec Power Solutions abrange também uma rede de filiais, sucursais e agentes espalhados por quatro continentes. Atualmente é uma das maiores empresa industriais do país e apresenta-se como uma marca virada para o futuro e para novos desafios [1]. Ao longo dos anos o logotipo da empresa foi-se alterando, atualmente o logotipo é o que se apresenta na Figura 2.



Figura 2 - Atual logotipo de Efacec

A Efacec está presente, de forma ativa, na maioria dos países europeus, com ênfase nos maiores mercados de mobilidade elétrica. No continente americano, o

mercado dos Estados Unidos, que constitui a maior parcela do total de negócios, destaca-se amplamente. A empresa encontra-se também atenta a outros mercados, em especial na Ásia, na América Latina e na Oceânia, onde já é dominante em alguns países desta região. Com uma presença abrangente na cadeia e valor de Energia, Mobilidade e Ambiente, a Efacec atua como fornecedor de soluções e de sistema integrados Engeneering, Rocourement and Construction EPC e parceria de serviços Operations & Manegment O&M. O grupo Efacec está presente em mercados estratégicos como a Europa, os Estados Unidos da América, a América Latina, a Ásia, o Médio Oriente, o Magrebe e a África do Sul.

Na área do Ambiente, a empresa oferece soluções integradas que vão desde a conceção e projeto à realização e exploração de sistemas, como é o caso das estações de tratamento de águas, estações de tratamento de águas residuais, estações de captação e bombagem de água e sistemas de valorização e tratamento de resíduos entre outros [2].

A autora realizou o estágio na unidade de Ambiente e Indústria da Efacec, que se localiza no pólo da Maia, interagindo igualmente com a ETAR do Ave e Estações Elevatórias associadas, cuja operação e manutenção se encontra à responsabilidade da Efacec. A Figura 3 mostra a atual unidade de ambiente e indústria da Efacec que tem como localização a Maia.



Figura 3 – Unidade de Ambiente e indústria da Efacec, localizada na Maia

ESTADO DA ARTE

2.1 ÁGUAS RESIDUAIS

2.2 TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

2.3 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

2.4 ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS

2.5 TIPOS DE BOMBAS

2.6 ENERGIA

2.7 GESTÃO DE ENERGIA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

2 Estado da Arte

Neste capítulo, serão abordados todos os temas considerados pertinentes para a realização e compreensão deste trabalho, nomeadamente será apresentada uma definição com o intuito de caracterizar o que são águas residuais, explicitando como é elaborado o tratamento das mesmas. Além disso, serão apresentados alguns conceitos referentes às estações de tratamento de águas residuais. Serão ainda também desenvolvidas questões relacionadas com estações elevatórias, desde a sua definição à conceitualização de uma estação elevatória ideal. Serão também explicados os diferentes tipos de bombas existentes, assim como uma breve abordagem acerca de energia, da sua gestão e, ainda, de eficiência energética.

2.1 Águas residuais

As águas residuais resultam da utilização da água nas suas variadas vertentes. É impossível viver modernamente sem que se produzam águas residuais, sendo o seu tratamento indispensável à saúde pública. Para isso os sistemas de tratamento de águas residuais têm bastante importância, pois são estes que permitem que as águas voltem ao seu curso natural. Os sistemas de tratamento de águas residuais, nomeadamente as estações elevatórias apresentam gastos energéticos muito elevados, considerando-se necessária a redução dos mesmos, sem que o tratamento das águas residuais fique comprometido. Cada português produz em média, diariamente 117 litros de águas residuais, pelo que ao fim de um ano equivale a 42705 litros de água [3]. Presentemente tem-se um moderno o serviço de recolha, transporte e tratamento de águas residuais, mas nem sempre foi assim. Com efeito, os contornos essenciais das políticas de abastecimento e saneamento de águas, começaram a definir-se em Portugal nos finais do século XIX. A correlação entre alguns tipos de doenças infecciosas, nomeadamente febre tifoide, e a inexistência de sistemas de abastecimento e saneamento de águas,

sobretudo em contexto urbano, era já relativamente consensual na transição do século XIX para o século XX. Estando o país desprovido de uma administração sanitária ágil, descentralizada e tecnicamente capacitada, confrontado com a grave crise financeira e, consequentemente, incapaz de investir nos equipamentos sanitários e na infraestruturação de sistemas de águas e esgotos, mantinha um estado sanitário débil e doentio.

Em 1857, ocorreu a primeira concessão dos serviços de águas de Lisboa, sendo que a partir de 1870 se assistiu a um crescimento significativo do número de concessões nos principais centros urbanos do país, entre eles Coimbra (1872), Porto (1873), Figueira da Foz (1887), Setúbal (1889), Viseu (1897), Faro (1899), Matosinhos (1901), Santarém (1903), Chaves (1903), Abrantes (1907) e Cascais (1908), é possível que tenham existido outras concessões, pois os contratos foram sujeitos a revisões [4].

Em 1934, foi apresentado um retrato da situação da administração sanitária em Portugal, que enumerava os pressupostos essenciais à ação de um trabalho sanitário sobre o que é necessário para a vida social civilizada:

- a) promover que seja fornecida água boa e suficiente para bebida e lavagens;
- b) evitar a poluição das águas;
- c) instalar canalizações e vigiar os esgotos;
- d) regular a construção e velar pela limpeza de ruas, estradas e casas;
- e) olhar pela salubridade das habitações;
- f) remover as imundícies e evitar os fumos;
- g) inspecionar os géneros alimentícios;
- h) combater as causas de doenças e providenciar quanto às epidemias;
- i) tratar dos defuntos e enterramentos sem prejudicar os vivos;
- j) vigiar sanitariamente os mercados, lugares públicos e condições de iluminação;
- l) fazer o registo dos óbitos e casos de doença [5].

O plano de abastecimento de águas às sedes dos concelhos anunciava o propósito de promover a realização dos estudos e obras necessários para que todas as sedes de concelho fossem convenientemente dotadas de água potável até ao final de 1954.

Em 1960, o plano de abastecimento de águas populacionais rurais assumia um objetivo ambicioso ao determinar que *“no menor prazo possível, todas as povoações*

com mais de 100 habitantes fiquem satisfatoriamente dotadas de um sistema de distribuição de água potável” [6].

Contudo, e apesar da evolução significativa registada entre 1975 e 1987 a percentagem de população servida com sistemas de abastecimento de água terá passado de 49,7% para 62,5% , de 33,5% para 42,3% relativamente aos sistemas de drenagem de esgotos e de 3,2% para 11% com sistemas de tratamento de esgotos [4].

Com a distribuição da água potável é necessário também prover as populações de sistemas de recolha e tratamento de águas residuais. As águas residuais consistem numa mistura dos efluentes líquidos provenientes das residências, instituições, estabelecimentos comerciais e industriais que se juntam a águas subterrâneas, superficiais ou pluviais que eventualmente possam estar presentes na rede coletora [7]. As águas residuais podem ser classificadas em 3 tipos [8] :

1. Águas residuais domésticas;
2. Águas residuais industriais;
3. Águas residuais urbanas.

As águas residuais domésticas são provenientes de instalações residências, do metabolismo humano e das atividades domésticas, nomeadamente banhos, cozinhas e lavagens de pavimentos, como mostra a Figura 4.



Figura 4 – Exemplo da tomada de início das águas residuais domésticas

As águas residuais industriais, são águas provenientes de instalações utilizadas para comércio ou indústria, resultantes dos processos de fabrico. São águas residuais que não podem ser classificadas de águas residuais domésticas nem são águas pluviais.

A Figura 5 apresenta as águas residuais urbanas que incluem águas residuais domésticas, águas residuais industriais, e/ou escoamento pluvial, incluindo águas das

chuvas, regas e lavagens de pavimentos públicos [8]. As águas residuais urbanas, contêm alguns compostos tóxicos como antibióticos e resíduos provenientes de fabricação de pesticidas.

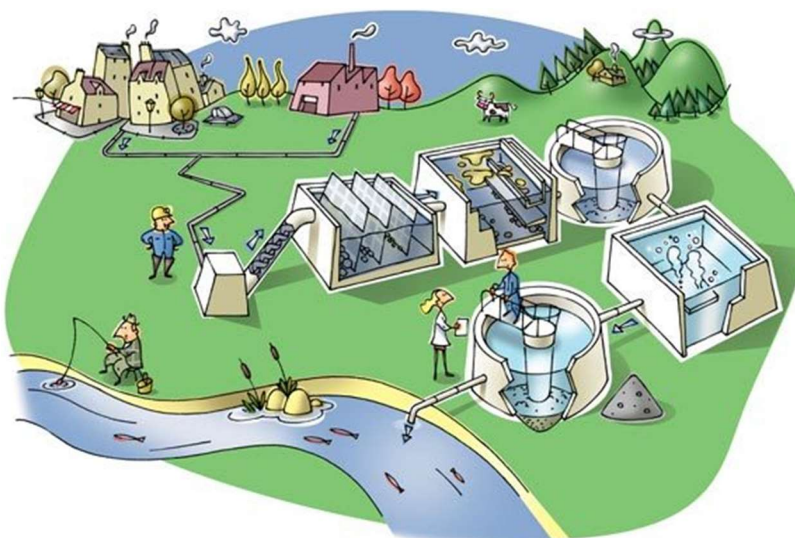


Figura 5 - Águas residuais urbanas

O tratamento das águas residuais é essencial dado que, se existir, a matéria orgânica presente decompõe-se conduzindo a condições incómodas incluindo a libertação de gases. Adicionalmente, as águas residuais não tratadas contêm microrganismo patogénicos. As mesmas contêm também nutrientes, o que pode estimular o crescimento de plantas aquáticas que, em grande quantidade, conduzem a um processo de eutrofização dos cursos de água, onde estas águas residuais são descarregadas. Além disso, podem conter compostos tóxicos ou compostos potencialmente cancerígenos ou mutagénicos. Deste modo, a remoção imediata das águas residuais dos pontos onde são geradas e o seu posterior tratamento em Estações de Tratamento de Águas Residuais é essencial para proteger a saúde pública e o ambiente. Após tratamento, a reutilização ou a reinserção no meio ambiente e no ciclo natural da água pode ser possível [9].

2.2 Tratamento de Águas Residuais

O *tratamento de águas residuais* é uma designação genérica que inclui um vasto número de técnicas, que permitem adequar as águas residuais à qualidade requerida para descarga no meio recetor. Existem dois grupos de tratamento de águas residuais:

- a) Sistemas naturais ou extensivos;
- b) Sistemas convencionais ou intensivos.

Os sistemas naturais ou extensivos, são processos naturais com baixo ou nenhum recurso a consumos energéticos e utilizam áreas superiores de implementação por habitante equivalente. São exemplo lagoas, fito-ETAR e sistemas de tratamento pelo solo. As fito-ETAR são sistemas biológicos projetados de modo a tirar partido de características específicas das zonas húmidas naturais, com o objetivo de melhorar a capacidade de tratamento das águas residuais. São, do ponto de vista técnico-económico, vantajosas no tratamento de água residual, dado que, necessitam de menores custos ao nível de construção, operação e manutenção [10]. A figuração apresenta um sistema de tratamento de águas residuais denominado Fito-ETAR com planta fixas emergentes de escoamento sub-superficial vertical.

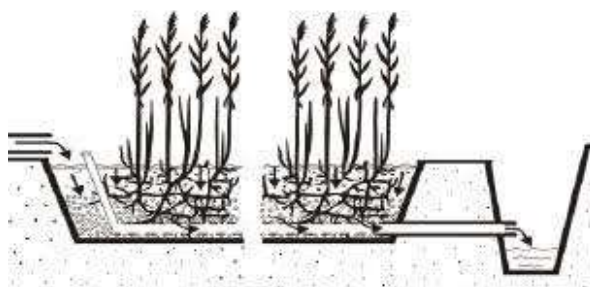


Figura 6 - Fito-ETAR com plantas Fixas emergentes de escoamento sub superficial vertical [12]

Aquando da seleção do sistema de tratamento, é necessário ter em conta diversos fatores, nomeadamente:

- A qualidade do afluente bruto;
- A qualidade pretendida do efluente final;
- Os custos do investimento;
- Os custos de exploração;
- custos de transporte (sistemas de drenagem e bombagem de águas residuais).

Quanto maior for o número de habitantes num local, mais económico se torna tratamento de águas residuais [11]. O tipo de Sistema a selecionar, depende igualmente da zona de implementação. Nos casos de aglomerados populacionais maiores, os

sistemas intensivos apresentam-se mais vantajosos, dado que o transporte da água é feito todo para o mesmo local.

Nos casos de aglomerados populacionais menores, como em algumas zonas no interior de Portugal, os sistemas extensivos apresentam mais vantagens, pois são locais com mais área livre, onde podem ser implementados os tratamentos naturais.

Os sistemas convencionais ou intensivos, são os sistemas com recurso a equipamentos eletromecânicos como é o caso das Estações de Tratamento de Águas Residuais, com elevado consumo energético e que utilizam pequenas área de implementação por *habitante equivalente*. Temos como exemplo *lamas ativadas* e *leitos percoladores* [11].

2.3 Estações de Tratamento de Águas Residuais

As Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) são infraestruturas destinadas ao tratamento de águas residuais, para posteriormente serem descarregadas para o mar ou rio, com níveis de poluição aceitáveis para o meio ambiente. A Figura 7, apresenta de forma geral um diagrama de tratamento de uma ETAR tradicional.

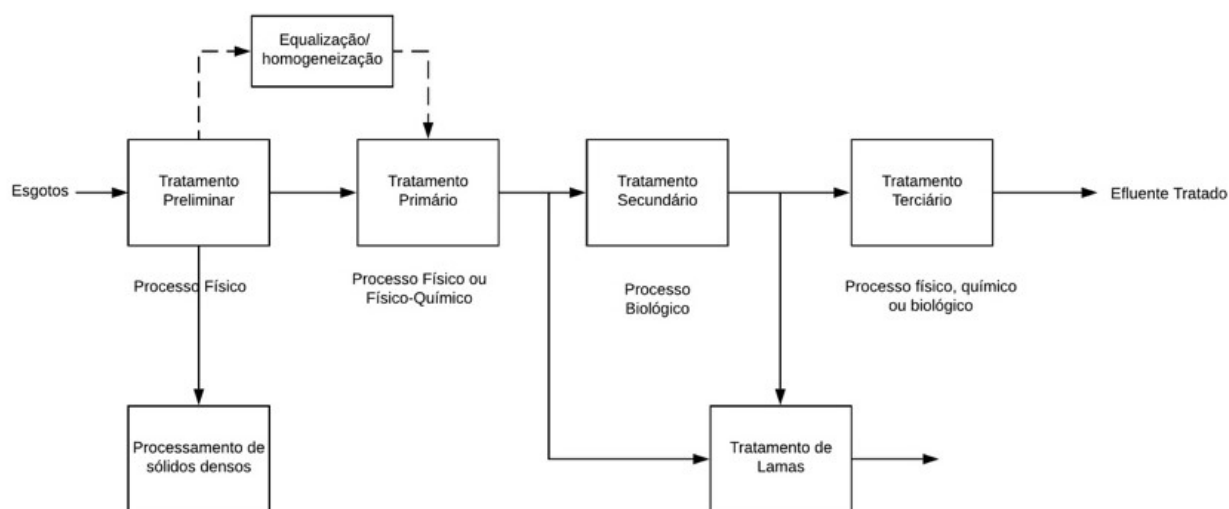


Figura 7 - Esquema geral para o processo de tratamento de águas residuais em ETAR.

Conforme se pode observar, é constituída por uma sequência de processos unitários ajustados às características quantitativas e qualitativas das águas residuais afluentes, localização do sistema e à qualidade do efluente tratado que se pretende obter, segundo as normas legais, permitindo a sua possível reutilização, através de um processo longo e faseado [12].

Nas Estações de Tratamento de Águas Residuais existem duas fases, em que a fase líquida que é na verdade o tratamento da água residual, e a fase sólida que envolve o tratamento das lamas retiradas do efluente.

2.3.1 Fase Líquida

Na chegada das águas residuais à ETAR, estas passam imediatamente pelo tratamento preliminar ou pré-tratamento, onde é realizada a remoção de constituintes das águas residuais como trapos, paus, troncos, materiais flutuantes, areias, pedras e gordura que podem acarretar problemas operacionais nos equipamentos decorrentes dos processos de tratamento de águas residuais, tais como entupimento de bombas ou tubos mais pequenos. Habitualmente, esta operação é realizada através da utilização de grades, para remover os materiais sólidos grosseiros. O espaçamento entre as barras da grade pode ser maior ou menor conforme o necessário. Após o efluente ter passado pela *gradagem*, é conduzida para o desarenador/ desengordurador onde areias, britas, e pequenas pedras se vão sedimentar e as gorduras e óleos vão *flotar* de forma a serem retirados do sistema. A Figura 8 mostra um exemplo de um sistema utilizado para gradagem.



Figura 8 – Sistema utilizado para realizar a gradagem.

Os materiais removidos neste tipo de tratamento, devem ser recolhidos periodicamente e transportados para um aterro sanitário para eliminação ou

incineração. Após o tratamento preliminar, as águas residuais contêm ainda matéria orgânica dissolvida e sólidos em suspensão.

No *tratamento primário*, procede-se à remoção da matéria em suspensão. Os sólidos em suspensão, são partículas minúsculas e podem ser removidos por tratamentos tais como decantação, coagulação química ou por filtração. Os poluentes, que se encontram dissolvidos ou os muito finos, acabam também suspensos na água residual, não sendo removidos nesta fase de forma eficaz, que usa unicamente a força da gravidade. Na *decantação primária*, a água residual entra no tanque de sedimentação ou decantador e os sólidos suspensos vão gradualmente depositar-se no fundo. Esta massa de sólidos, que se deposita no fundo, é designada de *lamas primárias*. Existem vários métodos para remover as lamas primárias dos tanques de sedimentação, mas correntemente é feito por bombagem. Algumas estações fazem este processo continuamente enquanto outras fazem-no intermitentemente, dependendo da quantidade de sólidos que as águas residuais têm.

No *tratamento primário avançado*, comparativamente ao primário normal, consegue-se remover uma maior percentagem de sólidos suspensos e de matéria orgânica presente nas águas residuais, através de adição de agentes químicos ou filtração.

A etapa seguinte passa pelo tratamento secundário onde é possível remover até 90% da matéria orgânica biodegradável (seja em solução ou em suspensão) presente nas águas residuais, bem como sólidos suspensos que ainda estejam presentes, produzindo-se lamas biológicas ou secundárias.

O principal método usado no tratamento secundário é a degradação aeróbia da matéria orgânica por microrganismos. Os dois métodos convencionais mais utilizados no tratamento secundário são os processos de crescimento em que os microrganismos são fixos a suportes sólidos e os processos de crescimento em que os microrganismos estão em suspensão. Pode ser realizado um tratamento, o secundário, que além da remoção dos orgânicos biodegradáveis e sólidos suspensos, também efetua a remoção de nutrientes (azoto, fósforo ou ambos), geralmente, também através de métodos biológicos, sendo designado como tratamento secundário com remoção de nutrientes.

Após o tratamento secundário, com ou sem remoção de nutrientes, pode-se optar por um tratamento terciário, ocorrendo a remoção de sólidos suspensos, que

ainda se encontrem nas águas residuais após tratamento secundário, habitualmente através de um filtro com um meio granular ou membranas. Tipicamente, a desinfecção também é parte do tratamento terciário e pode ser feita pela irradiação UltraVioleta (UV), adição de compostos de cloro, entre outros. A remoção avançada de nutrientes é, por vezes incluída na definição de tratamento terciário [9].

2.3.2 Fase Sólida

Como descrito anteriormente, nos tratamentos das águas residuais são removidos vários constituintes, entre eles, sólidos suspensos e biossólidos que são designados de lamas e resultam das várias operações que compõem o tratamento de águas residuais. Geralmente, encontram-se sob forma líquida ou líquida semissólida e podem ser benéficamente utilizados depois de sofrerem tratamentos compostos por processos tais como estabilização e compostagem.

Os tratamentos preliminares têm como função a redução de tamanho das partículas e a remoção de certos materiais que ainda possam estar nas lamas, tais como as areias ou materiais fibrosos. Estas operações, têm também a função de para homogeneizar a composição dos sólidos bem como equalizar o fluxo. Exemplos de operações que fazem parte deste tratamento são a *tamisagem* e *agitação mecânica*. Para reduzir o volume das lamas removendo parte da água, utiliza-se o espessamento, podendo ser gravítico ou mecânico. Normalmente, este processo ocorre separadamente nas lamas primárias e nas lamas secundárias.

Após uma primeira redução de volume, pode ser necessário recorrer a uma estabilização das lamas que tem como objetivo a estabilização dos sólidos, a redução de massa e ainda a recuperação do produto final para fertilização de solos. Como exemplos de operações deste tipo de tratamento temos a estabilização alcalina (com adição de cal), a digestão anaeróbia, a digestão aeróbia e a compostagem.

A desidratação promove a redução de volume por remoção de grande parte da água, utilizando, habitualmente uma *centrífuga de lamas*. Este efeito também pode ser obtido através de uma secagem térmica, que é realizada em secadores, onde a lama é aquecida. Outra possibilidade de redução do volume das lamas é a incineração, onde esta redução é feita por combustão da matéria orgânica e a recuperação de grande parte do conteúdo energético.

De um modo geral, os tratamentos de espessamento e centrifugação são usados, essencialmente, para remover a humidade dos sólidos. Os tratamentos de estabilização são usados, principalmente, para tratar e estabilizar o material orgânico presente nos sólidos. A gestão de lamas numa ETAR inclui também o seu armazenamento e transporte para destino final adequado [9].

2.4 Estações Elevatórias

As Estações Elevatórias, são infraestruturas pertencentes aos sistemas de tratamento de águas residuais, que contêm bombas hidráulicas. Assim, é possível bombear a água de áreas mais baixas para Estações de Tratamento de Águas Residuais num nível mais elevado [13]. As Estações Elevatórias caracterizam-se, principalmente, pelos tipos de *bombas*, pelos seus *motores* e ainda pelos principais aspetos de operação e manutenção. Podem ser denominadas de poços de bombagem, ou estações de bombagem e são utilizados para elevar o efluente proveniente de zonas mais baixas [14].

A Estações Elevatórias de saneamento, podem ser classificadas de diversas maneiras, mas nenhuma é completamente satisfatória já que apresentam diversas particularidades. As principais classificações das estações elevatórias de saneamento são feitas em função da sua capacidade, altura manométrica, extensão da linha de recalque, tipo de fonte de energia, método construtivo entre outras [9].

Durante o escoamento do fluido têm lugar perdas de carga e estas referindo-se estas a perdas de energia ou de pressão nas tubagens e são resultado do atrito entre o fluido e as paredes internas dos tubos. Estas perdas podem ser de tipo contínuo ou de tipo localizado. As perdas contínuas acontecem ao longo da tubagem e possuem sempre o mesmo valor, desde que material do tubo seja uniforme. Por seu lado, as perdas de carga localizadas são o resultado do movimento do fluido nas paredes e frestas dos tubos, mas não têm o mesmo valor ainda que o diâmetro seja o mesmo.

Existem diferentes fatores que influenciam significativamente as perdas de cargas dos sistemas, tais como a natureza do fluido, o material dos tubos, o diâmetro da tubagem, o comprimento dos tubos e o regime de escoamento [14]. A Figura 9 apresenta um esquema representativo de uma estação elevatória.



Figura 9 - Esquema de Estação Elevatória de Saneamento [16]

- 1 – Posicionamento;
- 2 – Unidade de pré-tratamento;
- 3 – Poço de bombagem e tubagem;
- 4 – Casa das bombas.

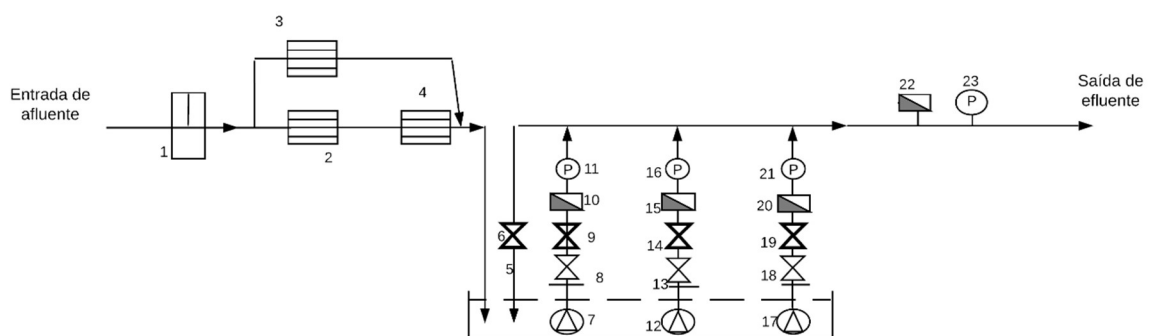
Aquando da escolha do local, é necessário considerar alguns aspetos, nomeadamente a topologia e dimensões do terreno, a facilidade de expropriação e a disponibilidade de energia elétrica. O edifício contém, habitualmente, uma unidade de pré-tratamento para a remoção dos sólidos de maiores dimensões, sendo que este é realizado através de uma grade de barras ou de cesto. Os principais componentes da tubagem são as canalizações de sucção e as válvulas. A casa das bombas é onde se encontra a bomba, o motor, tubos e acessórios [15].

A seleção de uma Estação Elevatória de águas residuais é feita de acordo com:

- 1) A natureza das águas residuais a elevar (águas residuais domésticas, de restaurantes, de clínicas, de laboratórios, etc.);
- 2) O caudal cujo cálculo horário pode ser calculado de modo simplificado, considerando um caudal médio diário por utilizador de $0,2 \text{ m}^3$, com um coeficiente de segurança 3 e 8 horas de funcionamento diário;
- 3) A altura manométrica total (diferença de nível mais perdas de carga nas canalizações e acessórios) [16].

2.4.1 Estação Elevatória do Ponto de Vista Ideal

Do ponto de vista de operação e manutenção, uma estação elevatória ideal deve facilitar e otimizar o trabalho. Consideramos que para que o mesmo possa ocorrer, a estação elevatória deve ser constituída por três bombas, em que duas trabalham regularmente e uma terceira que estará de reserva para quando uma das outras estiver em manutenção ou avaria. A Figura 10 apresenta um esquema linear de uma estação elevatória ideal.



- | | | |
|--|------------------------------------|------------------------------------|
| 1- Comporta de seccionamento | 9- Válvula de cunha da bomba 1 | 17- Bomba 3 |
| 2- Gradagem | 10- Caudalímetro | 18- Válvula de retenção da bomba 3 |
| 3- Gradagem bypass | 11- Medidor de pressão | 19- Válvula de cunha da bomba 3 |
| 4- Gradagem | 12- Bomba 2 | 20- Caudalímetro |
| 5- Conduta de descarga | 13- Válvula de retenção da bomba 2 | 21- Medidor de pressão |
| 6- Válvula de cunha da conduta de descarga | 14- Válvula de cunha da bomba 2 | 22- Caudalímetro |
| 7- Bomba 1 | 15- Caudalímetro | 23- Medidor de pressão |
| 8- Válvula de retenção da bomba 1 | 16- Medidor de pressão | |

Figura 10 - Diagrama Linear EE Ideal

Deve conter uma comporta de seccionamento, três equipamentos de gradagem, nomeadamente uma grade grossa, uma grade média/fina e uma grade *bypass* sendo, que a grade de *bypass* é uma salvaguarda em caso de avaria das outras grades.

Juntamente com cada bomba, devem existir válvulas de retenção, válvula de cunha, caudalímetros, medidores de pressão, medidores de potência e variadores de velocidade. À saída é importante a existência dum caudalímetro e um medidor de pressão. Os caudalímetros, os medidores de pressão e os medidores de energia devem ser equipamentos capazes de exportar automaticamente os dados, para que a equipa de manutenção consiga monitorizar remotamente o funcionamento da instalação.

2.5 Tipos de Bombas

As bombas são máquinas geratrizes cuja finalidade é realizar o deslocamento de um líquido por escoamento. Sendo uma máquina geratriz, ela transforma o trabalho mecânico que recebe para seu funcionamento em energia de pressão e cinética [17].

O modo pelo qual é feita a transformação do trabalho em energia hidráulica e o recurso para cedê-la ao líquido aumentando a sua pressão e/ou a sua velocidade permitem classificar as bombas em:

- Bombas de deslocamento positivo;
- Turbobombas, também denominadas de hidrodinâmicas, ou simplesmente dinâmicas;
- Bombas especiais (bomba com ejetor, pulsómetros, bomba de emulsão de ar).

As bombas de deslocamento positivo, possuem uma ou mais câmaras interiores em que no interior o movimento do órgão propulsor comunica energia e pressão ao líquido, provocando o seu escoamento. Já as turbobombas, também denominadas bombas rotodinâmicas, são caracterizadas por possuírem um órgão rotatório com pás, chamado rotor, que exerce sobre o líquido forças que resultam da aceleração que lhe imprime. A finalidade do rotor, ou impulsor, é comunicar à massa líquida aceleração, para que adquira energia cinética e se realize assim a transformação da energia mecânica de que está dotado. O rotor pode ainda ser fechado ou aberto.

- Rotor fechado: quando, além do disco onde se fixam as pás existe uma coroa circular também acoplada às pás. Utilizam-se para líquidos sem substâncias em suspensão. A Figura 11 apresenta uma imagem de um rotor fechado.



Figura 11 - Rotor fechado

- Rotor aberto: quando não existe essa coroa circular anterior. Utiliza-se para líquidos contendo pastas, lamas, areias, esgotos sanitários. A Figura 12 apresenta uma imagem de um rotor aberto.



Figura 12 - Rotor aberto

As turbobombas carecem de um outro órgão, o difusor, onde é feita a transformação da maior parte da energia cinética com que o líquido sai do rotor em energia de pressão. O difusor pode ser de tubo reto tronco-cônico, nas bombas axiais ou de caixa em forma de caracol nos outros tipos de bombas.

A classificação das turbobombas pode ser realizada de diferentes formas, são elas: classificação segundo a trajetória do líquido no rotor, classificação segundo o número de rotores empregados, classificação segundo o número de entradas para a aspiração e classificação segundo o modo pelo qual é obtida a transformação da energia cinética em energia de pressão [17].

- Classificação segundo a trajetória do líquido no rotor:
 - a) Bomba centrífuga pura ou radial: O líquido penetra no rotor paralelamente ao eixo, sendo dirigido pelas pás para a periferia, segundo trajetórias contidas em planos radiais. As bombas deste tipo possuem pás cilíndricas, com geratrizes paralelas ao eixo de rotação, sendo essas pás fixadas a um disco e a uma coroa circular fechada ou a um disco apenas;
 - b) Bomba de fluxo misto ou bomba diagonal:
 - b.1) Bomba hélico-centrífuga: Nas bombas deste tipo, o líquido penetra no rotor axialmente, atinge as pás cuja extremidade de entrada é curva e inclinada em relação ao eixo, segue uma trajetória que é uma curva reversa, e atinge a extremidade de saída

paralela ao eixo ou ligeiramente inclinado em relação a ele mesmo. Sai do rotor segundo um plano perpendicular ao eixo ou segundo uma trajetória ligeiramente inclinada em relação ao plano perpendicular;

b.2) Bomba helicoidal ou semi-axial: Nestas bombas, o líquido atinge a extremidade das pás, que é curva e bastante inclinada em relação ao eixo, a trajetória é uma hélice cônica reversa e as pás são superfícies de dupla curvatura. A extremidade de saída das pás é uma curva bastante inclinada em relação ao eixo. O rotor normalmente possui apenas uma base de fixação das pás com a forma de um cone ou uma ogiva. As bombas deste tipo prestam-se a grandes descargas de alturas de elevação pequenas a médias;

c) Bomba axial ou propulsora: Nestas bombas, as trajetórias das partículas líquidas pela configuração que assumem as pás do rotor e as pás guias, começam paralelamente ao eixo e transformam-se em hélices cilíndricas. As bombas axiais são empregadas para grandes descargas e altura de elevação de até 40 metros. Possuem difusor de pás guias isto é coletor tronco-cônico com pás guias. O eixo em geral é vertical, e por isso são conhecidas como bombas verticais de coluna;

- Classificação segundo o número de Rotores existentes:

- a) Bomba de estágio simples: existe apenas um rotor e, portanto, o fornecimento de energia ao líquido é feito num único estágio (constituído por um rotor e um difusor);
- b) Bombas de múltiplos estágios: Quando a altura de elevação é grande, faz-se o líquido passar sucessivamente por dois ou mais rotores fixados ao mesmo eixo e colocados numa caixa cuja forma permite esse escoamento. A passagem do líquido em cada rotor e difusor constitui um estágio na operação de bombeamento. As bombas com múltiplos estágios são próprias para instalações de alta pressão;

- Classificação segundo o número de entradas para a aspiração:

- a) Bomba de aspiração simples ou de entrada unilateral: Neste tipo, a entrada do líquido faz-se de um lado e pela abertura circular na coroa do rotor. A Figura 13 apresenta uma imagem de uma bomba de aspiração simples.

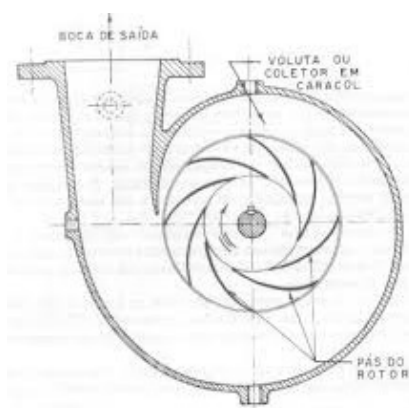


Figura 13 – Representação em corte de bomba de aspiração simples

- b) Bomba de aspiração dupla ou entrada bilateral: o rotor é de tal forma que permite receber o líquido por dois sentidos opostos, paralelamente ao eixo de rotação;
- Classificação segundo o modo pelo qual é obtida a transformação da energia cinética em energia de pressão:
 - a) Bomba de difusor com pás guias ou diretrizes colocadas entre o rotor e o coletor;
 - b) Bomba com coletor em forma de caracol ou voluta;
 - c) Bomba com difusor axial tronco-cônico, com pás guias;

Estes equipamentos têm um elevado grau de dependência de energia elétrica e, por isso, o consumo de energia elétrica em estações elevatórias é muitas vezes o maior encargo financeiro das entidades gestoras deste tipo de infraestruturas [14]. Segundo alguns autores, podem mesmo representar 90% dos encargos com a energia elétrica [15]. Assim sendo, é imprescindível procurar soluções com o menor custo possível [14]. Para que um determinado volume de água se desloque de um ponto até outro com uma cota superior, é necessário que o escoamento possua energia suficiente para executar um movimento ascendente para vencer as forças, que se opõem ao movimento ascendente dessa massa de água.

Na impossibilidade de recorrer a gravidade para deslocar a água, é essencial a utilização de equipamentos capazes de transmitir ao fluido a energia mecânica necessária. Esses equipamentos, as bombas hidráulicas, são capazes de transformar a energia elétrica em energia mecânica [15].

2.6 Energia

A energia elétrica é uma forma de energia fácil de transportar e tem origem na movimentação orientada de cargas [18]. A Figura 14 mostra os conhecidos postes de alta tensão, utilizados para o grande transporte.



Figura 14: Postes de alta tensão

Para além da energia elétrica, existem outras formas de energia, como é o caso da energia térmica, da energia cinética, da energia química ou nuclear. A energia térmica é produzida pela vibração e movimento dos átomos e moléculas dentro de substâncias. A energia cinética é armazenada no movimento de objetos e quanto mais rápido os objetos se movem mais energia é armazenada. A energia química é armazenada nas ligações de átomos e moléculas, sendo que esta pode ser armazenada em baterias. A energia nuclear é armazenada no núcleo de um átomo e é a energia que mantém o núcleo unido, podem ser libertadas grandes quantidades de energia quando os núcleos são combinados ou separados. De facto, a energia está em todo o lado, todas as coisas que fazemos na vida são resultado da energia [19]. Por esta razão, não seria possível manter o nosso modo de vida atual sem energia.

O fornecimento de energia, envolve uma enorme variedade de impactes ambientais que são cada vez menos tolerados pela sociedade do século XXI. Por este motivo, o "problema energético" em conjunto com o "problema ambiental" continua a ser um tema importante na engenharia, bem como nas políticas energética e ambiental da Europa.

De acordo com o grau de conversão, os portadores de energia são classificados como portadores de energia primária, de energia secundária e portadores finais de energia.

- Os portadores de energia primária são substâncias que ainda não sofreram qualquer conversão técnica, em que o termo energia primária se refere ao conteúdo de energia (por exemplo, energia eólica);
- Os portadores de energia secundária são produzidos a partir de energia primária ou secundária, diretamente ou por um ou vários processos técnicos de conversão, como gasolina, óleo de aquecimento, energia elétrica;
- O transportador final de energia e a energia final, respetivamente, são fluxos de energia diretamente consumidos pelo usuário final, tais como, lascas de madeira em frente ao forno de combustão;
- A energia útil refere-se à energia disponível para o consumidor após o último passo de conversão para satisfazer os requisitos respetivos ou exigências energéticas, desde aquecimento ambiente, preparação de alimentos, informação a transporte.

2.6.1 Potência

A potência é a quantidade de trabalho realizada por uma unidade de tempo e que na verdade é o tempo despendido ou a velocidade realizada na mudança da energia num sistema quando ele realiza um trabalho [20]. Em particular a Potência elétrica define-se como o trabalho executado por unidade de tempo. Esta é obtida através do produto da tensão pela corrente. A unidade da potência elétrica é o Watt (W) [21].

2.6.2 Corrente Elétrica

A corrente elétrica (I), consiste no fluxo de cargas elétricas, sobre a forma de eletrões. O deslocamento ocorre quando existe diferença de potencial elétrico entre as extremidades. A grandeza de uma corrente elétrica é indicada pela sua intensidade sendo medida em Ampere [22]. A corrente elétrica pode ser contínua ou alternada como

se pode ver na Figura 15, sendo considerada contínua (CC) quando o seu sentido não é alterado, ou seja, é sempre positiva ou sempre negativa. Este tipo de corrente é, comumente, encontrado em pilhas e baterias.

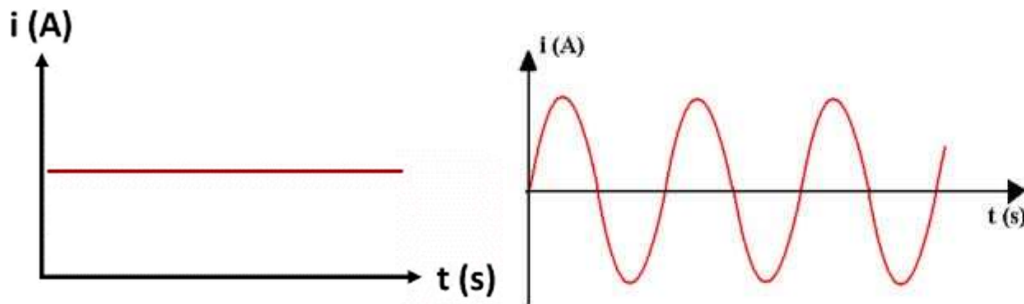


Figura 15 – No primeiro gráfico apresenta-se a corrente contínua e no segundo gráfico a corrente elétrica alternada

Por seu lado, a Corrente Alternada (CA), é um tipo de corrente cujo sentido varia com o tempo. É esta a forma de corrente utilizada na distribuição de energia elétrica [23].

2.6.3 Variadores de Velocidade

Um variador de velocidade é um equipamento usado para controlar a velocidade de rotação de um motor e este, por sua vez, da bomba, através da alteração da tensão e frequência da corrente fornecida ao motor [24]. Estes dispositivos são de instalação simples e permitem um maior ajuste entre os volumes fluentes e os caudais bombeados, sendo assim capazes de reduzir os consumos de energia. Por outro lado, reduzindo a velocidade de rotação, verifica-se também uma redução das forças exercidas sobre o impulsor, o que provoca um aumento do período de vida dos apoios e dos vedantes do grupo eletrobomba, além de reduzir vibrações e ruídos [25] .

2.7 Gestão de Energia e Eficiência Energética

A gestão de energia é um tema que tem a sua importância assegurada há muito tempo. Atualmente, é um desafio para toda a indústria, uma vez que a pressão económica aumenta resultado do esforço em corrigir o impacto ambiental dos processos produtivos, enquanto se luta para competir num mercado global de preços

em declínio [26]. Gerir a energia não deve significar apenas reduzir os consumos, mas sim garantir a sua utilização da forma mais racional possível. Esta metodologia traduz-se na procura de uma alta eficiência energética, ou seja, fazer mais e melhor com menos consumo. Este deve ser um processo dinâmico onde, para se atingirem os objetivos, se deve criar um compromisso entre as questões económicas e ambientais. O uso racional de energia, pressupõe que cada processo a utilize de forma a minimizar a quantidade consumida de energia primária. Este é o recurso energético que se encontra disponível na natureza: petróleo, gás natural, energia hídrica, energia eólica, biomassa, solar entre outros.

Com vista à preservação do meio ambiente, considera-se necessário diminuir os consumos energéticos, sendo que para isso, é importante que os pequenos e grandes consumidores de energia possam avaliar os seus consumos de forma a alterarem os seus hábitos energéticos, levando à necessidade de monitorizar a energia.

Ao monitorizar o consumo de energia as empresas conseguem respostas a importantes questões, como:

- Que máquinas utilizam mais energia?
- O que está a causar picos de consumo?
- Que consumos anormais ocorreram?

Para uma gestão correta dos custos operacionais de uma empresa, é essencial a monitorização do consumo de energia. Um dos problemas existentes na gestão da energia de muitas empresas é a falta de informação disponível sobre os consumos energéticos dos processos. Ao monitorizar o consumo de energia, é possível verificar quais são as máquinas mais dispendiosas, as flutuações do consumo de energia por máquina bem como a deteção de situações de consumos pouco habituais. A utilização da monitorização de energia, permite o desenvolvimento de uma cultura de consciência energética na empresa, entre todos os colaboradores, constituindo como a ferramenta importante para a mesma possa atingir os seus objetivos de diminuição de consumos energéticos [27].

2.7.1 Estratégias de Redução dos Custos Através da Energia Elétrica

As ações para a redução da energia elétrica, devem ser implementadas considerando as características particulares de cada sistema e podem passar por uma série de medidas práticas, capazes de levar à redução de consumo, destacando-se três grupos distintos, que serão de seguida descritos

1. Redução do custo sem diminuição do consumo de energia elétrica

As medidas de redução do custo, sem diminuir o consumo da energia elétrica, podem dividir-se em dois conjuntos diferentes: as que não carecem de investimento e aquelas cujo investimento é necessário. Para o primeiro caso, pode citar-se adequação da potência contratada pela empresa e alteração do tarifário de energia. Relativamente ao segundo caso, podem citar-se a melhoria do *fator de potência* e a mudança da tensão da estação elevatória.

2. Redução do custo pela diminuição do consumo de energia elétrica

Estas medidas podem consistir na redução da altura manométrica da instalação, através da diminuição das perdas de carga. Se após o estudo do diâmetro mais económico para a conduta de impulsão, se constatar que o resultado não se aproxima do diâmetro existente, então é possível que se consiga reduzir a altura manométrica das bombas pela mitigação da perda de carga contínua do escoamento em virtude da substituição da conduta por uma de diâmetro mais favorável. Uma outra possibilidade, é a melhoria do rendimento dos grupos elevatórios por equipamentos energeticamente mais eficientes.

3. Redução do custo pela alteração da política operacional

É possível atingir uma maior economia, se se mantiverem os grupos elevatórios ligados durante intervalos de tempo estritamente imprescindíveis, nos períodos tarifários em que o preço da energia elétrica por kW.h é mais elevado [28].

CASOS DE ESTUDO

3.1 ETAR DO AVE

3.2 ETAR DE MATOSINHOS

3 Casos de Estudos

Os casos de estudo deste trabalho são quatro, tratando-se de Estações Elevatórias pertencentes aos subsistemas de Saneamento do Ave e de Vila do Conde Sul:

- Estação Elevatória de Vila do Conde
- Estação Elevatória de Vila Chã
- Estação Elevatória de Moreiró/ Labruge
- Estação Elevatória de Labruge.

A Estação Elevatória de Vila do Conde, pertence ao subsistema de saneamento do Ave e encontra-se associada à ETAR do AVE. As Estações Elevatórias de Vila Chã, de Moreiró/ Labruge e de Labruge fazem parte do subsistema de saneamento de Vila do Conde Sul e estão associadas à ETAR de Matosinhos.

3.1 ETAR do Ave

A ETAR do Ave localiza-se na freguesia de Tougues, no concelho de Vila do Conde e entrou em funcionamento em agosto de 2010 é propriedade das Águas do Norte S.A.. Foi dimensionada para tratar 42900m³/dia de águas residuais, mas habitualmente na época baixa (Inverno) trata 11000m³/dia e na época alta (Verão) 16000 m³/dia. A ETAR funciona continuamente, 24 horas por dia, 365 dias por ano, realizando o tratamento de águas residuais domésticas e industriais da região. Possui uma tecnologia avançada para o tratamento de efluentes provenientes da indústria têxtil e do vestuário muito comuns na região. Possui também uma unidade de tratamento terciário, onde o efluente é sujeito a uma desinfecção UV, para garantir que quando a água é devolvida ao rio Ave está em condições ambientalmente seguras [29]. A Figura 16 apresenta uma fotografia da ETAR do Ave tirada em outubro de 2014.



Figura 16 - ETAR do Ave- 23 de outubro 2014

A ETAR do Ave inclui três fases de tratamento, a fase sólida, a fase líquida e a fase gasosa, as diferentes fases incluem vários tipos de tratamentos.

Fase Líquida

Tratamento preliminar – o tratamento é composto, inicialmente, por uma elevação através de parafusos de Arquimedes, seguidos pelas operações unitárias de gradagem grossa (40 mm) e fina (3 mm). Para finalizar este tratamento são removidas as areias, óleos e gorduras em desarenadores / desengorduradores. A figura 17 mostra um parafuso de Arquimedes da ETAR do Ave.



Figura 17 - Parafuso de Arquimedes utilizado para elevar a água

Tratamento primário – a água residual é encaminhada para a decantação primária de planta quadrada, do tipo lamelar;

Tratamento secundário – é composto pelo tratamento biológico de planta circular, permitindo que num único órgão se realize a remoção da matéria orgânica carbonácea e do azoto através do processo de pré desnitrificação e desnitrificação simultânea. Cada reator é servido por um decantador secundário;



Figura 18: Reator Biológico

Tratamento terciário – o efluente resultante da decantação secundária é filtrado através de microtamisadores e na época balnear, é ainda desinfetado através de radiação ultravioleta.

Fase Sólida

O tratamento inicia-se com o espessamento gravítico de lamas primárias e com o espessamento mecânico das lamas biológicas, originando-se as lamas mistas espessadas. As lamas espessadas, em conjunto com os óleos e gorduras provenientes do tratamento preliminar, alimentam os digestores anaeróbios, com agitação mecânica, operados em alta carga em regime mesófilo (36 °C). Por sua vez, as lamas digeridas alimentam a desidratação mecânica realizada em centrífugas. Por fim, as lamas

desidratadas são armazenadas em silos de lamas antes de serem enviadas para o destino final.

Fase Gasosa

Todos os órgãos e edifícios suscetíveis de produzir odores, nomeadamente, a obra de entrada, o tratamento preliminar, os decantadores primários, o tratamento de lamas, incluindo a zona de descarga dos silos de lamas desidratadas, são devidamente confinados e servidos por uma rede de ventilação, que conduz o ar viciado para tratamento. Este tratamento, desenvolve-se através de um processo de lavagem química. Esta fase não está em funcionamento, pois não se verificam impactos significativos, e é apenas necessário manter em funcionamento os sistemas de ventilação dos órgãos fechados para garantir a extração dos gases corrosivos e tóxicos [30].

Uma das Estações Elevatórias, a ser estudada neste trabalho pertence ao subsistema de saneamento do Ave. Na Figura 19, pode ver-se um esquema que inclui a ETAR do Ave e as diferentes estações elevatórias que integram o subsistema.

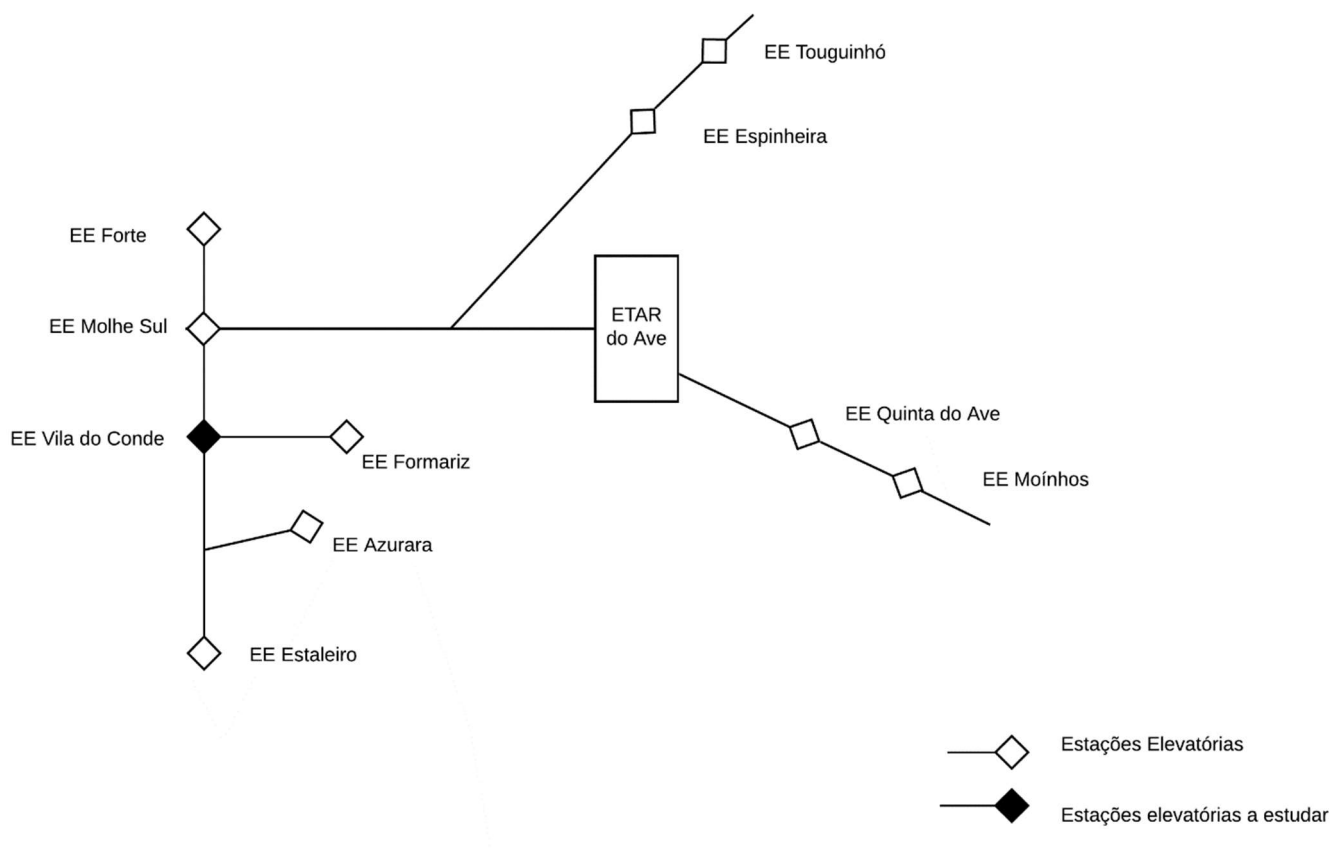


Figura 19 - Estações Elevatórias pertencentes ao subsistema de saneamento do Ave

A ETAR do Ave recebe as águas residuais provenientes de diferentes estações elevatórias. A Estação Elevatória Moinhos bombeia as águas residuais para a EE Quinta do Ave, que por sua vez, bombeia as águas residuais para a ETAR do Ave. A EE Estaleiro bombeia as águas residuais para a EE Vila do Conde, onde se juntam as águas residuais provenientes da EE Azurara e da EE Formariz. A EE de Vila do Conde, recebe também uma componente gravítica reunindo e elevando o todo o esgoto para a EE Molhe Sul, que recebe também as águas residuais provenientes da EE Fonte. A EE Espinheira recebe o esgoto da EE Touguinhó, e eleva as águas residuais em direção à ETAR de Ave juntando-as com as águas residuais da EE Molhe Sul [30].

3.1.1 Caso 1: Estação Elevatória Vila do Conde

A Estação Elevatória de Vila do Conde tem uma estrutura conforme apresentado na Figura 20. Compõe-se por uma comporta de seccionamento, por gradagem mecânica, onde as águas residuais são gradadas e seguem para o poço de bombagem, onde existe uma conduta de descarga e três grupos eletrobomba, cada um deles com uma válvula de cunha e uma válvula de retenção. Antes das águas residuais saírem da EE, passam por um caudalímetro e por um medidor de pressão.

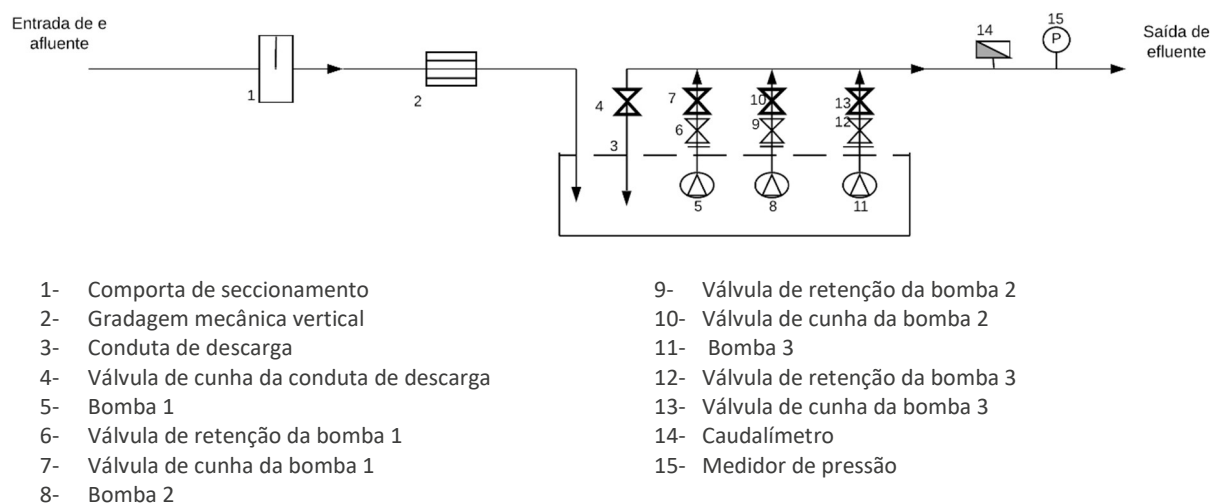


Figura 20 - Diagrama Linear EE Vila do Conde

Na Tabela 1 são apresentadas as principais especificações, retiradas das curvas características disponibilizadas pelo fabricante, dos grupos eletrobomba instalados na Estação Elevatória de Vila do Conde:

Tabela 1 - Principais especificações dos grupos eletrobomba instalados na Estação Elevatória de Vila do Conde

Referências	
Número de unidades	3
Fabricante / Marca	ABS
Tipo/ Modelo	AFP 2001.309 ME450/4-44
Características da bomba	
Altura manométrica	15 m
Caudal correspondente	700 m ³ /h
Rendimento da bomba	79,2%
Diâmetro do impulsor	309mm
Saída de voluta	DN200
Características do Motor Elétrico	
Potência nominal	45 kW
Velocidade de rotação nominal	1465 rpm
Tensão nominal	400 V
Frequência	50 Hz
Número de pólos	4
Número de fases	3
Corrente nominal	80 A
Corrente de arranque	490 A
Classe de isolamento do estator	F
Classe de proteção	IP 68
Eficiência do motor com carga total	93,2%
Eficiência do motor a $\frac{3}{4}$ de carga	94,0%
Eficiência do motor a $\frac{1}{2}$ de carga	94,2%
Materiais	
Corpo	Ferro fundido
Impulsor	Ferro fundido
Motor	Ferro fundido

3.2 ETAR de Matosinhos

A ETAR de Matosinhos localiza-se na freguesia de Leça da Palmeira, no concelho de Matosinhos é propriedade das Águas do Norte S.A. Esta ETAR recebeu melhorias ao nível do tratamento secundário e em 2018 encontrava-se em fase de testes. Estima-se que no primeiro ano tenha tratado cerca de 39427 m³/dia de águas residuais [31]. Na Figura 21 apresenta-se uma imagem da ETAR mencionada.



Figura 21 - ETAR de Matosinhos [32]

Na Figura 22, pode observar-se um esquema das estações elevatórias pertencentes ao subsistema de saneamento de Vila do Conde Sul e do emissário do Cabo do Mundo, algumas das quais integram os casos de estudo deste trabalho.

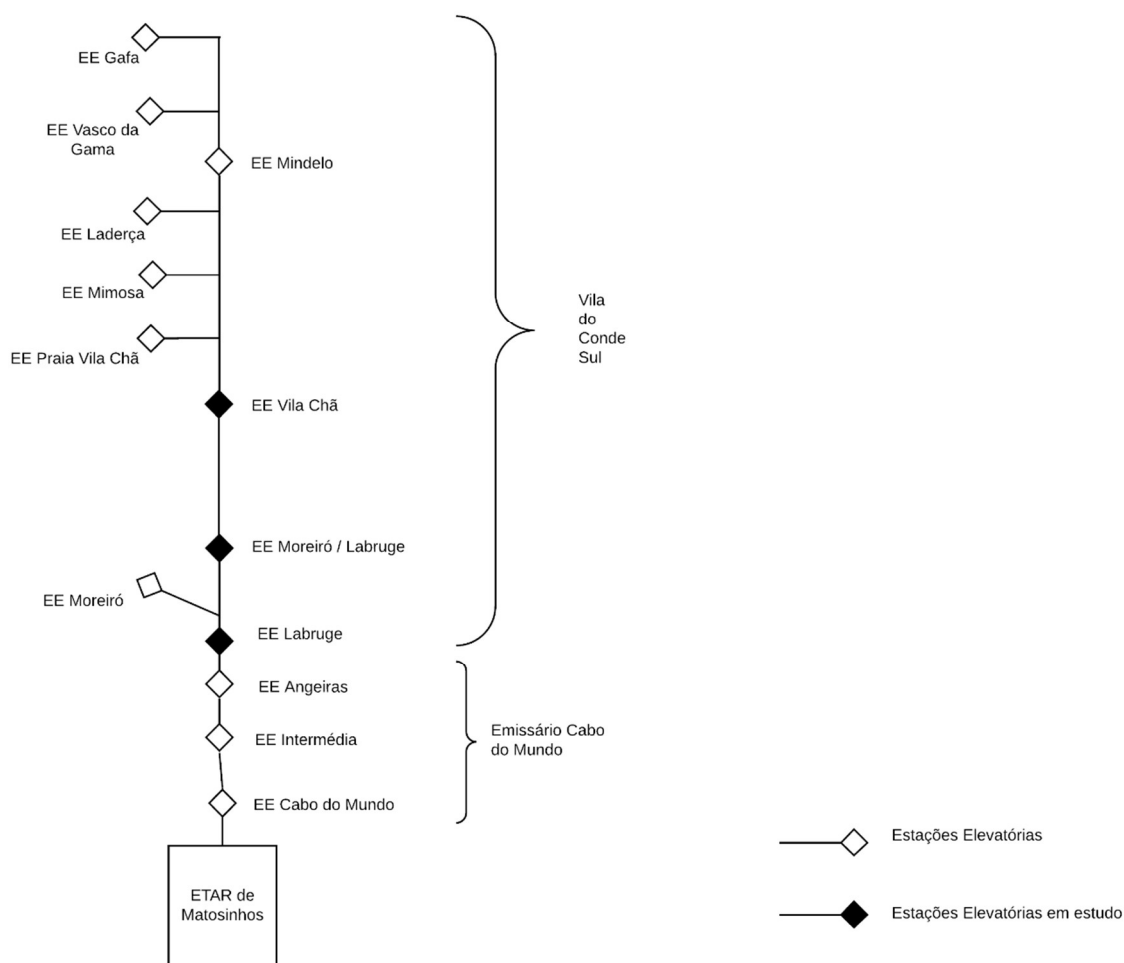
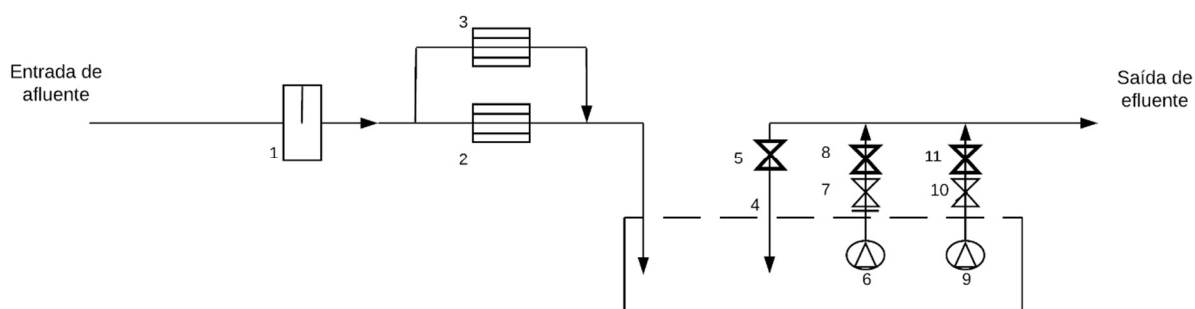


Figura 22 - Estações Elevatórias pertencentes ao subsistema de saneamento de Vila do Conde Sul e do emissário do Cabo do Mundo que bombeiam para a ETAR de Matosinhos

Os esgotos das EE Gafa e da EE Vasco da Gama, juntam-se e seguem para a EE Mindelo. As águas residuais da EE Mindelo, juntam-se às águas residuais da EE Laderça, da EE Mimosa e da EE Praia Vila Chã, seguindo para a EE de Vila Chã. A EE Moreiró/Labruge recebe os esgotos da EE Vila Chã. A EE Labruge recebe as águas residuais da EE Moreiró/Labruge e da EE Moreiró. As águas residuais da EE Labruge juntam-se à EE Angeiras, estas por sua vez juntam-se à EE Intermédia. A EE intermédia eleva os esgotos até à EE Cabo do Mundo. A ETAR de Matosinhos recebe as águas residuais da EE Cabo do Mundo[30].

3.2.1 Caso 2: Estação Elevatória Vila Chã

A Estação Elevatória de Vila Chã, compõe-se por uma comporta de seccionamento, por gradagem através de um tamisor rotativo e uma grade que funciona em *bypass*. A seguir à gradagem, as águas residuais seguem para o poço de bombagem, onde existe uma conduta de descarga e dois grupos electrobomba, cada um deles com uma válvula de cunha e uma válvula de retenção.



- | | |
|--|------------------------------------|
| 1- Comporta de seccionamento | 7- Válvula de retenção da bomba 1 |
| 2- Gradagem tamisor rotativo | 8- Válvula de cunha da bomba 1 |
| 3- Gradagem bypass | 9- Bomba 2 |
| 4- Conduta de descarga | 10- Válvula de retenção da bomba 2 |
| 5- Válvula de cunha da conduta de descarga | 11- Válvula de cunha da bomba 2 |
| 6- Bomba 1 | |

Figura 23 - Diagrama Linear EE Vila Chã

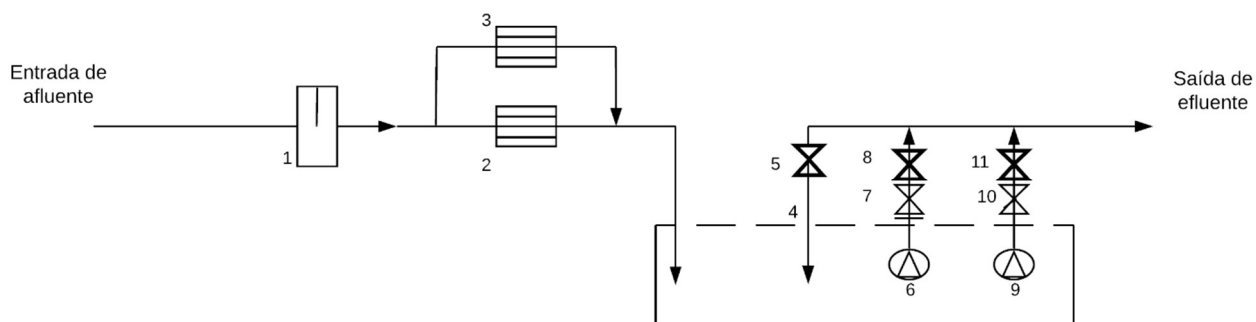
Na Tabela 2 são apresentadas as principais especificações, retiradas das curvas características disponibilizadas pelo fabricante, dos grupos eletrobomba instalados na Estação Elevatória de Vila Chã:

Tabela 2 - Principais especificações dos grupos eletrobomba instalados na Estação Elevatória de Vila Chã

Referências	
Número de unidades	2
Fabricante / Marca	Grundfos
Tipo/ Modelo	S1.80.125.300.4.62H.S.338.G.N.D
Características da bomba	
Altura manométrica	17 m
Caudal correspondente	342 m ³ /h
Rendimento da bomba	78%
Diâmetro do impulsor	338 mm
Saída de voluta	DN125
Características do Motor Elétrico	
Potência nominal	34 kW
Velocidade de rotação nominal	1482 rpm
Tensão nominal	400 V
Frequência	50 Hz
Número de pólos	4
Número de fases	3
Corrente nominal	67 A
Corrente de arranque	460 A
Classe de isolamento do estator	F
Classe de proteção	IP 68
Eficiência do motor com carga total	89%
Eficiência do motor a $\frac{3}{4}$ de carga	87%
Eficiência do motor a $\frac{1}{2}$ de carga	84%
Materiais	
Corpo	Ferro fundido GG25
Impulsor	Ferro fundido GG25
Motor	Ferro fundido GG25

3.2.2 Caso 3: Estação Elevatória Moreiró/Labruge

A Estação Elevatória de Moreiró/Labruge, é composta por uma comporta de seccionamento, por gradagem através de um tamisador rotativo e uma grade que funciona em bypass. Após a gradagem, as águas residuais seguem para o poço de bombagem, onde existe uma conduta de descarga e dois grupos eletrobomba, cada um deles com uma válvula de cunha e uma válvula de retenção.



- | | |
|---|------------------------------------|
| 1- Comporta de seccionamento | 7- Válvula de retenção da bomba 1 |
| 2- Gradagem tamisador rotativo | 8- Válvula de cunha da bomba 1 |
| 3- Gradagem bypass | 9- Bomba 2 |
| 4- Condução de descarga | 10- Válvula de retenção da bomba 2 |
| 5- Válvula de cunha da condução de descarga | 11- Válvula de cunha da bomba 2 |
| 6- Bomba 1 | |

Figura 24 - Diagrama Linear EE Moreiró/Labruge

Na Tabela 3 apresentam-se as principais especificações, retiradas das curvas características disponibilizadas pelo fabricante, dos grupos eletrobomba instalados na Estação Elevatória de Moreiró/Labruge:

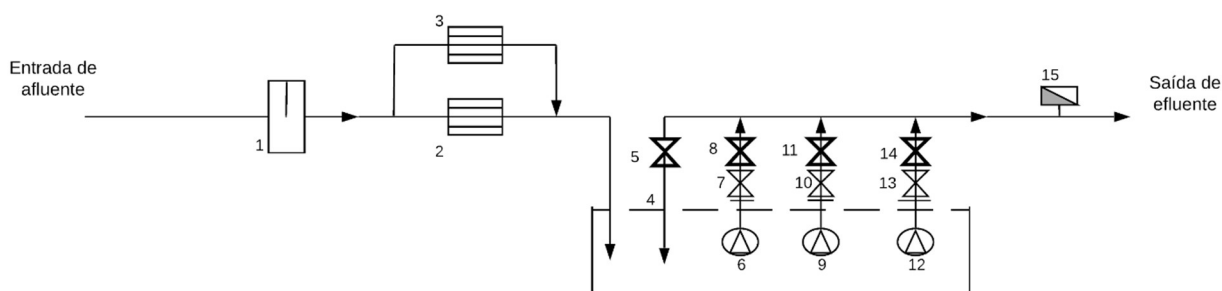
Tabela 3 - Principais especificações dos grupos eletrobomba instalados na Estação Elevatória de Moreiró/Labruge

Referências	
Número de unidades	2
Fabricante / Marca	Grundfos
Tipo/ Modelo	S1.80.125.400.4.62H.D.374.G.N.D
Características da bomba	
Altura manométrica	17 m
Caudal correspondente	396 m ³ /h
Rendimento da bomba	78%
Diâmetro do impulsor	374 mm
Saída de voluta	DN125
Características do Motor Elétrico	
Potência nominal	49 kW
Velocidade de rotação nominal	1464 rpm
Tensão nominal	400 V
Frequência	50 Hz
Número de pólos	4
Número de fases	3
Corrente nominal	86 A
Corrente de arranque	437 A
Classe de isolamento do estator	F
Classe de proteção	IP 68
Eficiência do motor com carga total	89%
Eficiência do motor a $\frac{3}{4}$ de carga	89%
Eficiência do motor a $\frac{1}{2}$ de carga	87%
Materiais	
Corpo	Ferro fundido GG25
Impulsor	Ferro fundido GG25
Motor	Ferro fundido GG25

3.2.3 Caso 4: Estação Elevatória Labruge

A Estação Elevatória de Labruge, cujo diagrama se encontra representado na Figura 25, é composta por uma comporta de seccionamento, por gradagem através de um tamisador rotativo e uma grade que funciona em *bypass*, onde as águas residuais são gradadas e seguem para o poço de bombagem, onde existe uma conduta de descarga e três grupos eletrobomba, cada um deles com uma válvula de cunha e uma

válvula de retenção. Antes das águas residuais saírem da EE passam por um caudalímetro.



- | | |
|--|------------------------------------|
| 1- Comporta de seccionamento | 9- Bomba 2 |
| 2- Gradagem tamisor rotativo | 10- Válvula de retenção da bomba 2 |
| 3- Gradagem bypass | 11- Válvula de cunha da bomba 2 |
| 4- Conduta de descarga | 12- Bomba 3 |
| 5- Válvula de cunha da conduta de descarga | 13- Válvula de retenção da bomba 3 |
| 6- Bomba 1 | 14- Válvula de cunha da bomba 3 |
| 7- Válvula de retenção da bomba 1 | 15- Caudalímetro |
| 8- Válvula de cunha da bomba 1 | |

Figura 25 - Diagrama Linear EE Labruge

Na Tabela 4 são apresentadas as principais especificações, retiradas das curvas características disponibilizadas pelo fabricante, dos grupos eletrobomba instalados na Estação Elevatória de Labruge:

Tabela 4 - Principais especificações dos grupos eletrobomba instalados na Estação Elevatória de Labruge

Referências	
Número de unidades	3
Fabricante / Marca	KSB
Tipo/ Modelo	KRTK 150-315/234UG-S
Características da bomba	
Altura manométrica	14 m
Caudal correspondente	324 m ³ /h
Rendimento da bomba	78,1%
Diâmetro do impulsor	266 mm
Saída de voluta	DN150
Características do Motor Elétrico	
Potência nominal	21 kW
Velocidade de rotação nominal	1449 rpm
Tensão nominal	400 V
Frequência	50 Hz
Número de pólos	4
Número de fases	3
Corrente nominal	40,5 A
Corrente de arranque	4,9 A
Classe de isolamento do estator	F
Classe de proteção	IP 68
Eficiência do motor com carga total	87,5%
Materiais	
Corpo	Ferro fundido JL 1040
Impulsor	Ferro fundido JL 1040
Motor	Ferro fundido JL 1040

PROPOSTA DE SOLUÇÃO

4.1 EE VILA DO CONDE

4.2 EE VILA CHÃ

4.3 EE MOREIRÓ/LABRUGE

4.4 EE LABRUGE

4 Proposta de solução

Para a proposta de solução foram requeridos orçamentos de bombas capazes de substituir as atuais a duas empresas, referida como Empresa A e a Empresa B, com diferentes especificações. São também apresentados os cálculos, para obter o período de retorno dos investimentos de cada proposta.

Os caudais das bombas instaladas, são referentes ao ano de 2018 e foram recolhidos através do *software* da operação. Para a execução dos cálculos, assumiu-se que o caudal total das bombas propostas é igual ao caudal das bombas instaladas. O tempo de funcionamento das bombas instaladas é referente ao ano de 2018 e foi também recolhido através do *software* da operação.

O tempo de funcionamento das bombas propostas resulta do quociente entre caudal total de 2018 das bombas instaladas e o produto do número de bombas e o caudal teórico da bomba proposta.

$$\text{Tempo de funcionamento da bomba proposta} = \frac{Q \text{ Total 2018 das Bombas instaladas}}{N^{\circ} \text{ de Bombas} \times Q \text{ teórico da bomba proposta}}$$

A potência hidráulica, da bomba proposta resulta da milésima parte do produto entre o quociente do caudal por 3600 e altura manométrica e peso específico da água.

$$\text{Potência hidráulica da bomba proposta} = \frac{\frac{Q}{3600} \times H \times \rho \text{ da água}}{1000}$$

A potência mecânica da bomba proposta resulta do quociente entre a potência hidráulica da bomba proposta pelo rendimento da mesma bomba.

$$\text{Potência mecânica da bomba proposta} = \frac{P \text{ hidráulica}}{\eta \text{ da bomba}}$$

A potência fornecida da bomba instalada é o valor médio proveniente do analisador de energia, eliminando os valores inferiores a 75% do valor máximo registado. Por indicação da Efacec devido ao facto de desconsiderar as rampas de arranque e paragem dos grupos.

A potência fornecida da bomba proposta resulta do quociente entre a potência mecânica da bomba proposta pelo rendimento do motor.

$$\text{Potência fornecida da bomba proposta} = \frac{P_{\text{mecânica}}}{\eta_{\text{do motor}}}$$

O consumo de energia da bomba proposta resulta do produto de potência fornecida pelo tempo de funcionamento.

$$\text{Consumo de energia da bomba proposta} = P_{\text{fornecida}} \times T_{\text{de funcionamento}}$$

A poupança energética da bomba proposta resulta da diferença entre o consumo de energia da bomba instalada e o consumo de energia da bomba proposta.

$$\text{Poupança energética da bomba proposta} = \text{Consumo de energia da Bomba instalada} - \text{Consumo de energia da bomba Proposta}$$

A economia energética da bomba proposta resulta do produto da poupança energética da bomba proposta pelo quociente entre o preço pelos kWh.

$$\text{Economia energética da bomba proposta} = \text{Poupança Energética da bomba proposta} \times \text{Preço/kWh}$$

O investimento total da bomba proposta é o custo da bomba proposta e os seus componentes.

A economia em manutenção da bomba proposta resulta da diferença entre o custo de manutenção anual da bomba instalada e o custo de manutenção da bomba proposta.

$$\text{Economia em manutenção da bomba proposta} = \text{Custo de Manutenção anual da bomba instalada} - \text{Custo de manutenção da bomba proposta}$$

Os custos de manutenção das bombas existentes, correspondem a valores médios anuais (ao longo de 10 anos) e foram estimados tendo em conta a data de instalação, o histórico de custos de manutenção, a previsão de substituição de componentes e o custo com mão de obra. O custo de manutenção anual das bombas propostas, foram estimados considerando o custo com mão de obra para manutenção preventiva e corretiva e substituição expectável de alguns componentes.

O Período de Retorno de Investimento da bomba proposta resulta do quociente entre o investimento total e a soma da economia energética com a economia em manutenção.

$$PRI = \frac{\text{Investimento total}}{\text{Economia Energética} + \text{Economia em Manutenção}}$$

A sequência de cálculos é apresentada na Figura 26.

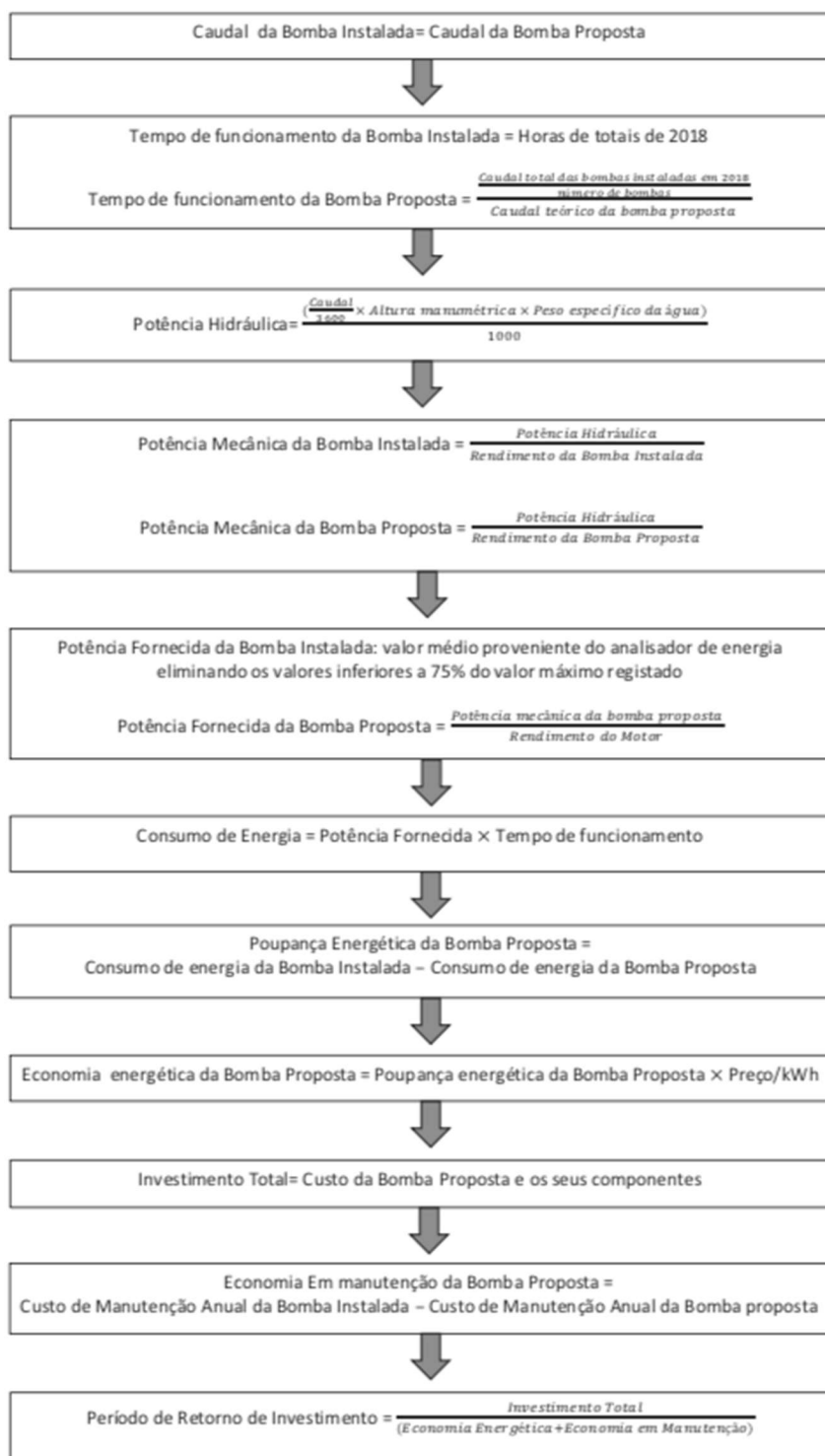


Figura 26 - Ordem pela qual foram efetuados os cálculos

Esta sequência de cálculos foi depois aplicada a cada caso, sendo os resultados apresentados nas secções seguintes.

4.1 EE Vila do Conde

Nesta estação elevatória foram analisadas duas bombas, a bomba 1 e a bomba 3. As Tabelas 5 e 6 apresentam o tempo de retorno de investimento das bombas propostas pela empresa A e pela empresa B.

4.1.1 Bomba 1

Tabela 5 - Período de retorno de investimento das bombas propostas para a bomba 1 da EE Vila do Conde

Bomba 1	Instalada	Proposta A	Proposta B
Rendimento da bomba (%)	79*	70	76
Potência hidráulica (kW)	29,06*	29,06	28,86
Potência mecânica (kW)	36,78*	41,51	37,97
Rendimento do sistema (%)	73*	65	68
Rendimento do motor (%)	93*	93	89
Consumo de energia (kWh/ano)	45936	37445	36048
Tempo de funcionamento (horas/ano)	2088	839	845
Caudal (m ³ /h)	280	711	706
Altura manométrica (m)	15	15	15
Peso específico da água (N/m ³)	9810	9810	9810
Potência fornecida (kW)	22	44,63	42,66
Poupança Energética (kWh/ano)		8491	9888
Economia Energética (€/ano)		849,00	989,00
Custo de Energia (€/kWh)		0,10	0,10
Investimento total (€)		15 345,00	7617,75
Custo de Manutenção anual (€/ano)	800,00	700,00	900,00
Economia em Manutenção (€/ano)		100,00 €	100
PRI (ano)		16,2	8,6

* Valores teóricos das bombas instaladas, conforme apresentado no 3.1.1.

A bomba 2 encontrava-se em manutenção em oficina pelo que não foi considerada para esta análise.

4.1.2 Bomba 3

Tabela 6 - Período de retorno de investimento das bombas propostas para a bomba 3 da EE Vila do Conde

Bomba 3	Instalada	Proposta A	Proposta B
Rendimento da bomba (%)	79*	70	76
Potência hidráulica (kW)	10,91*	29,06	28,86
Potência mecânica (kW)	13,81*	41,51	37,97
Rendimento do sistema (%)	73*	65	68
Rendimento do motor (%)	93*	93	89
Consumo de energia (kWh/ano)	41040	37445	36048
Tempo de funcionamento (horas/ano)	2280	839	845
Caudal (m ³ /h)	267	711	706
Altura manométrica (m)	15	15	15
Potência fornecida (kW)	18	44,63	42,66
Poupança Energética (kWh/ano)		3595	4992
Economia Energética (€/ano)		360,00	499,00
Custo de Energia (€/kWh)		0,10	0,10
Investimento total (€)		15 345,00	7 617,75
Custo de Manutenção anual (€/ano)	800,00	700,00	900,00
Economia em Manutenção (€/ano)		100,00	100,00
PRI (ano)		33,4	19,1

* Valores teóricos das bombas instaladas, conforme apresentado no 3.1.1.

4.2 EE Vila Chã

Na estação elevatória de Vila Chã analisaram-se duas bombas, a bomba 1 e a bomba 2 e seguidamente apresenta-se o período de retorno de investimento das bombas propostas pela empresa A e pela empresa B.

4.2.1 Bomba 1

Tabela 7 - Período de retorno de investimento das bombas propostas para a bomba 1 da EE Vila Chã

Bomba 1	Instalada	Proposta A	Proposta B
Rendimento da bomba (%)	78*	78	81
Potência hidráulica (kW)	12,97*	21,29	15,89
Potência mecânica (kW)	16,63*	27,29	19,62
Rendimento do sistema (%)	69*	72	71
Rendimento do motor (%)	89*	92	88
Consumo de energia (kWh/ano)	22680	23550	22389
Tempo de funcionamento (horas/ano)	1080	794	1004
Caudal (m ³ /h)	280	434	343
Altura manométrica (m)	17	18	17
Potência fornecida (kW)	21	29,66	22,30
Poupança Energética (kWh/ano)		-870	291
Economia Energética (€/ano)		-87,00	29,00
Custo de Energia (€/kWh)		0,10	0,10
Investimento total (€)		10 845,00	5 755,05
Custo de Manutenção anual (€/ano)	2000	600,00	700,00
Economia em Manutenção (€/ano)		1 400,00	1 300,00
PRI (ano)		8,3	4,3

* Valores teóricos das bombas instaladas, conforme apresentado no 3.2.1.

4.2.2 Bomba 2

Tabela 8 - Período de retorno de investimento das bombas propostas para a bomba 2 da EE Vila do Chã

Bomba 2	Instalada	Proposta A	Proposta B
Rendimento da bomba (%)	78*	78	81
Potência hidráulica (kW)	12,97*	21,29	15,89
Potência mecânica (kW)	16,63*	27,29	19,62
Rendimento do sistema (%)	69*	72	71
Rendimento do motor (%)	89*	92	88
Consumo de energia (kWh/ano)	28980	23550	22389
Tempo de funcionamento (horas/ano)	1380	794	1004
Caudal (m³/h)	280	434	343
Altura manométrica (m)	17	18	17
Potência fornecida (kW)	21	29,66	22,30
Poupança Energética (kWh/ano)		5430	6591
Economia Energética (€/ano)		543,00	659,00
Custo de Energia (€/kWh)		0,10	0,10
Investimento total (€)		10 845,00	5 755,05
Custo de Manutenção anual (€/ano)	2000	600,00	700,00
Economia em Manutenção (€/ano)		1 400,00	1 300,00
PRI (ano)		5,6	2,9

* Valores teóricos das bombas instaladas, conforme apresentado no 3.2.1.

4.3 EE Moreiró/Labruge

Estação elevatória é composta por dois grupos eletrobomba, compostos pela bomba 1 e pela bomba 2. As Tabelas 9 e 10 apresentam o tempo de retorno de investimento das bombas propostas pela empresa A e pela empresa B.

4.3.1 Bomba 1

Tabela 9 - Período de retorno de investimento das bombas propostas para a bomba 1 da EE Moreiró/Labruge

Bomba 1	Instalada	Proposta A	Proposta B
Rendimento da bomba (%)	78*	78	69
Potência hidráulica (kW)	13,43*	21,53	19,72
Potência mecânica (kW)	17,22*	27,60	28,58
Rendimento do sistema (%)	69*	72	61
Rendimento do motor (%)	89*	92	89
Consumo de energia (kWh/ano)	21441	26640	31147
Tempo de funcionamento (horas/ano)	1021	888	970
Caudal (m ³ /h)	290	439	402
Altura manométrica (m)	17	18	18
Potência fornecida (kW)	21	30,00	32,11
Poupança Energética (kWh/ano)		-5199	-9706
Economia Energética (€/ano)		-520,00	-971,00
Custo de Energia (€/kWh)		0,10	0,10
Investimento total (€)		10 845,00	6 601,35
Custo de Manutenção anual (€/ano)	2000	600,00	700,00
Economia em Manutenção (€/ano)		1 400,00	1 300,00
PRI (ano)		12,3	20,1

* Valores teóricos das bombas instaladas, conforme apresentado no 3.2.2.

4.3.2 Bomba 2

Não foi possível considerar os dados do analisador referentes a esta bomba pelo que, a potência fornecida considerada, é a potência da bomba 1.

Tabela 10 - Período de retorno de investimento das bombas propostas para a bomba 2 da EE Moreiró/Labruge

Bomba 2	Instalada	Proposta A	Proposta B
Rendimento da bomba (%)	78*	78	69
Potência hidráulica (kW)	13,43*	21,53	19,72
Potência mecânica (kW)	17,22*	27,60	28,58
Rendimento do sistema (%)	69*	72	61
Rendimento do motor (%)	89*	92	89
Consumo de energia (kWh/ano)	35007	26640	31147
Tempo de funcionamento (horas/ano)	1667	888	970
Caudal (m ³ /h)	290	439	402
Altura manométrica (m)	17	18	18
Potência fornecida (kW)	21	30,00	32,11
Poupança Energética (kWh/ano)		8367	3860
Economia Energética (€/ano)		837,00	386,00
Custo de Energia (€/kWh)		0,10	0,10
Investimento total (€)		10 845,00	6 601,35
Custo de Manutenção anual (€/ano)	2000,00	600,00	700,00
Economia em Manutenção (€/ano)		1 400,00	1 300,00
PRI (ano)		4,8	3,9

* Valores teóricos das bombas instaladas, conforme apresentado no 3.2.2.

4.4 EE Labruge

A estação elevatória de Labruge é composta por 3 bombas, a bomba 1, a bomba 2 e a bomba 3. As Tabelas 11 e 12 apresentam o tempo de retorno de investimento das bombas propostas pela empresa A e pela empresa B.

4.4.1 Bomba 1

Tabela 11 - Período de retorno de investimento das bombas propostas para a bomba 1 da EE Labruge

Bomba 1	Instalada	Proposta A	Proposta B
Rendimento da bomba (%)	78*	78	74
Potência hidráulica (kW)	9,92*	12,89	12,40
Potência mecânica (kW)	12,72*	16,53	16,76
Rendimento do sistema (%)	69*	70	65
Rendimento do motor (%)	88*	90	88
Consumo de energia (kWh/ano)	33003	25608	27603
Tempo de funcionamento (horas/ano)	1737	1394	1449
Caudal (m ³ /h)	260	338	325
Altura manométrica (m)	14	14	14
Potência fornecida (kW)	19	18,37	19,05
Poupança Energética (kWh/ano)		7395	5400
Economia Energética (€/ano)		740,00	540,00
Custo de Energia (€/kWh)		0,10	0,10
Investimento total (€)		6 795,00	4 084,15
Custo de Manutenção anual (€/ano)	650,00€	500,00	600,00
Economia em Manutenção (€/ano)		150,00	50,00
PRI (ano)		7,6	6,9

* Valores teóricos das bombas instaladas, conforme apresentado no 3.2.3.

4.4.2 Bomba 2

Tabela 12 - Período de retorno de investimento das bombas propostas para a bomba 2 da EE Labruge

Bomba 2	Instalada	Proposta A	Proposta B
Rendimento da bomba (%)	78*	78	74
Potência hidráulica (kW)	12,32*	12,89	12,40
Potência mecânica (kW)	15,79*	16,53	16,76
Rendimento do sistema (%)	69*	70	65
Rendimento do motor (%)	88*	90	88
Consumo de energia (kWh/ano)	26784	25608	27603
Tempo de funcionamento (horas/ano)	1488	1394	1449
Caudal (m³/h)	323	338	325
Altura manométrica (m)	14	14	14
Potência fornecida (kW)	18	18,37	19,05
Poupança Energética (kWh/ano)		1176	-819
Economia Energética (€/ano)		118,00	-82,00
Custo de Energia (€/kWh)		0,10	0,10
Investimento total (€)		6 795,00	4 084,15
Custo de Manutenção anual (€/ano)	650,00	500,00	600,00
Economia em Manutenção (€/ano)		150,00	50,00
PRI (ano)		25,4	---

* Valores teóricos das bombas instaladas, conforme apresentado no 3.2.3.

4.4.3 Bomba 3

Tabela 13 - Período de retorno de investimento das bombas propostas para a bomba 3 da EE Labruge

Bomba 3	Instalada	Proposta A	Proposta B
Rendimento da bomba (%)	78*	78	74
Potência hidráulica (kW)	8,13*	12,89	12,40
Potência mecânica (kW)	10,42*	16,53	16,76
Rendimento do sistema (%)	69*	70	65
Rendimento do motor (%)	88*	90	88
Consumo de energia (kWh/ano)	51888	25608	27603
Tempo de funcionamento (horas/ano)	2256	1394	1449
Caudal (m ³ /h)	213	338	325
Altura manométrica (m)	14	14	14
Potência fornecida (kW)	23	18,37	19,05
Poupança Energética (kWh/ano)		26280	24285
Economia Energética (€/ano)		2 628,00	2 429,00
Custo de Energia (€/kWh)		0,10	0,10
Investimento total (€)		6 795,00	4 084,15
Custo de Manutenção anual (€/ano)	650,00	500,00	600,00
Economia em Manutenção (€/ano)		150,00	50,00
PRI (ano)		2,4	1,6

* Valores teóricos das bombas instaladas, conforme apresentado no 3.2.3.

ANÁLISE TÉCNICO ECONÓMICA

5.1 EE VILA DO CONDE

5.2 EE VILA CHÃ

5.3 EE MOREIRÓ/LABRUGE

5.4 EE LABRUGE

5 Análise Técnico Económica

Neste capítulo apresenta-se em forma de gráficos e tabelas a análise técnico financeira das bombas propostas pelas duas empresas.

5.1 EE Vila do Conde

5.1.1 Bomba 1

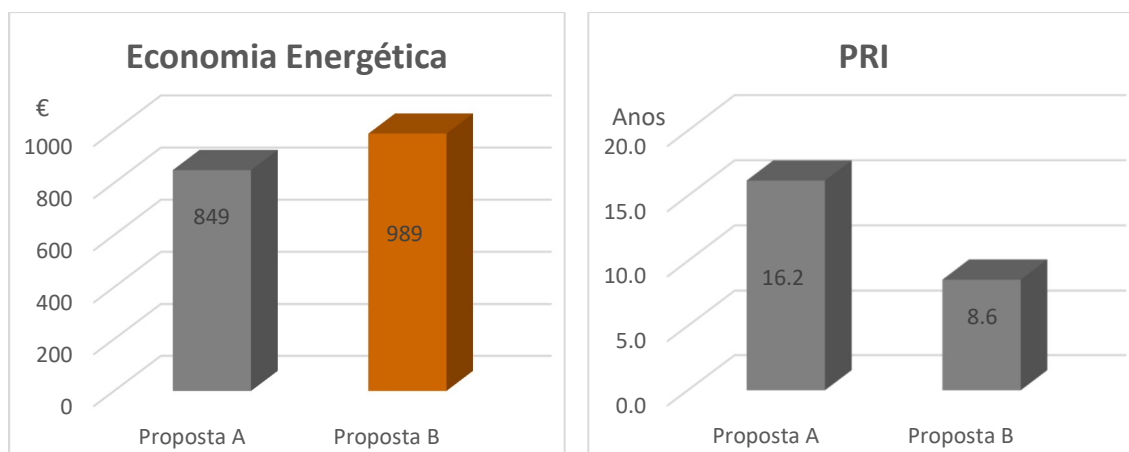


Figura 27 – a) Economia Energética Anual Bomba 1 EE Vila do Conde, b) Período de Retorno de Investimentos Bomba 1 EE Vila do Conde

No caso da bomba 1 da EE de Vila do Conde, conclui-se que a bomba atual não deve ser substituída, dado que ambas as propostas apresentam um tempo de retorno de investimento superior a 5 anos. A bomba proposta pela Empresa B, apresenta um benefício a nível de consumo energético na ordem dos 989 €/ano.

5.1.2 Bomba 3

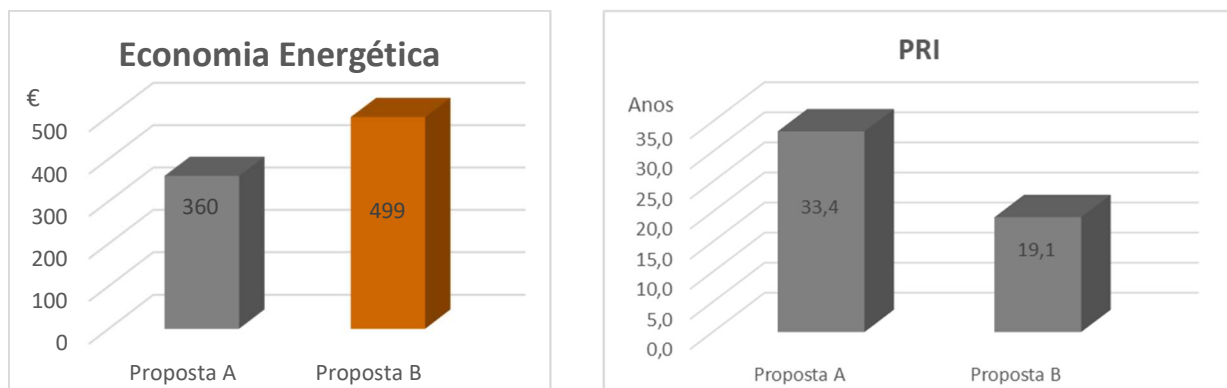


Figura 28 a) Economia Energética Anual Bomba 3 EE Vila do Conde; b) Período de Retorno de Investimentos Bomba 3 EE Vila do Conde

No caso da bomba 3 da EE de Vila do Conde, conclui-se que a bomba atual não deve ser substituída, dado que ambas as propostas apresentam um tempo de retorno de investimento superior a 5 anos. A bomba proposta pela Empresa B, apresenta um benefício a nível de consumo energético na ordem dos 499 €/ano.

Análise global da EE

Tabela 14 - Análise global da EE Vila do Conde

EE Vila do Conde Total	Bomba 1 – proposta mais vantajosa	Bomba 3 – proposta mais vantajosa	Total
Economia Energética (€/ano)	989,00	499,00	1488,00
PRI (ano)	8,6	19,1	9,0
Economia em Manutenção (€/ano)	100,00	100,00	200,00
Investimento total (€)	7617,75	7617,75	15235,50

Considerando a proposta mais vantajosa para a bomba 1 e a proposta mais vantajosa para a bomba 3, o período de retorno de investimento é de 9,0 anos, acima do aceitável, visto que para cada bomba o PRI aceitável é no máximo 5 anos.

5.2 EE Vila Chã

5.2.1 Bomba 1

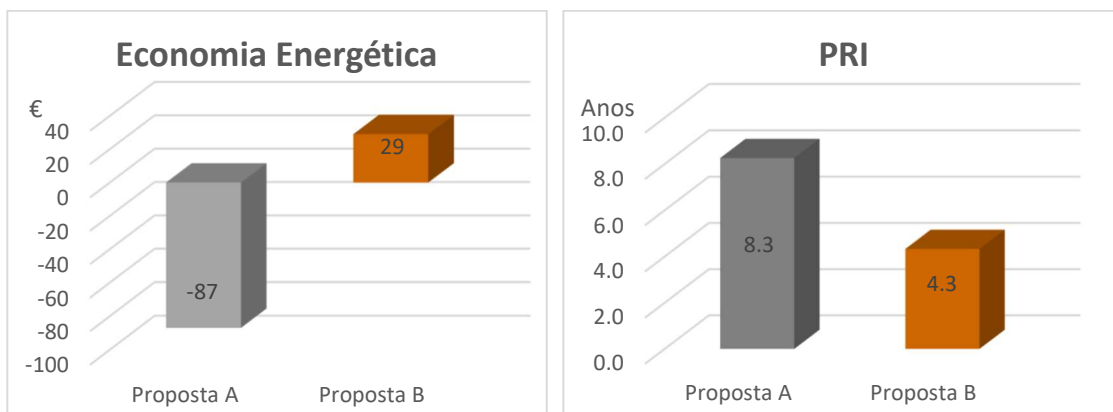


Figura 29 a) Economia Energética Anual Bomba 1 EE Vila Chã; b) Período de Retorno de Investimentos Bomba 1 EE Vila Chã

No caso da bomba 1 da EE de Vila Chã, foi possível concluir que a atual deve ser substituída pela bomba proposta pela Empresa B, dado que apresenta o tempo de retorno de investimento mais baixo, 4,3 anos e um maior benefício a nível de consumo energético, na ordem dos 29 €/ano.

5.2.2 Bomba 2

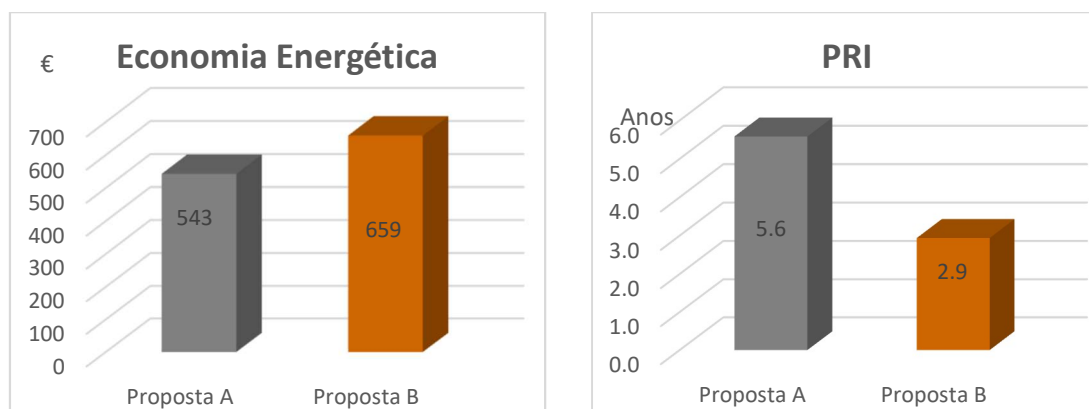


Figura 30 -a) Economia Energética Anual Bomba 2 EE Vila Chã; b) Período de Retorno de Investimentos Bomba 2 EE Vila Chã

No caso da bomba 2 da EE de Vila Chã, conclui-se, novamente, que a bomba atual deve ser substituída pela bomba proposta pela Empresa B, dado que apresenta o tempo

de retorno de investimento mais baixo, 2,9 anos e um maior benefício a nível de consumo energético, na ordem dos 659 €/ano.

Análise global da EE

Tabela 15 - Análise global da EE Vila Chã

EE Vila Chã Total	Bomba 1 - proposta mais vantajosa	Bomba 2 - proposta mais vantajosa	Total
Economia Energética (€/ano)	29,00	659,00	688,00
PRI (ano)	4,3	2,9	3,5
Economia em Manutenção (€/ano)	1300,00	1300,00	2600,00
Investimento total (€)	5755,05	5755,05	11510,10

Analisando globalmente a EE de Vila Chã, pode concluir-se que é vantajoso substituir as duas bombas em conjunto, pois o período de retorno de investimento é de 3,5 anos, sendo muito abaixo do máximo aceitável.

5.3 EE Moreiró/Labruge

5.3.1 Bomba 1

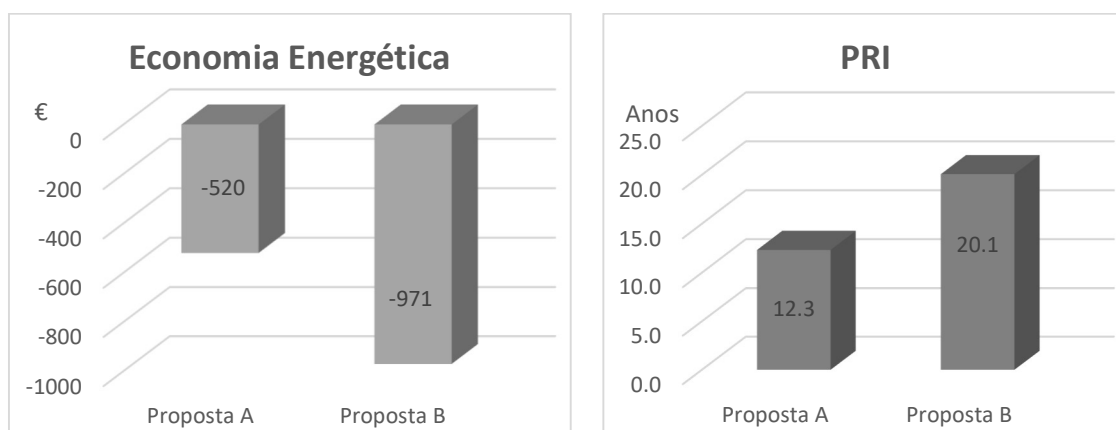


Figura 31 a) Economia Energética Anual Bomba 1 EE Moreiró/Labruge; b) Período de Retorno de Investimentos Bomba 1 EE Moreiró Labruge

No caso da bomba 1 da EE de Moreiró/Labruge, conclui-se que a bomba não deve ser substituída. O tempo de retorno de investimento é bastante elevado nas duas propostas e a economia energética é negativa nas duas propostas.

5.3.2 Bomba 2

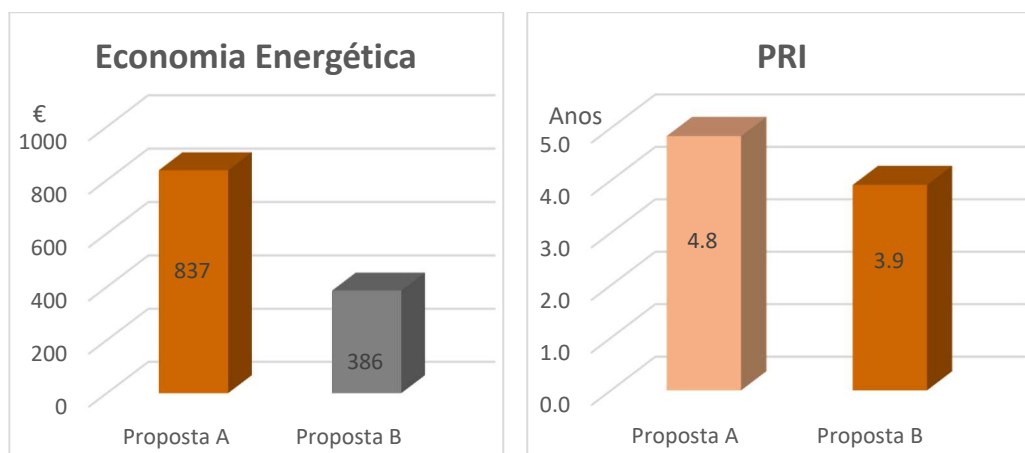


Figura 32 a) Economia Energética Anual Bomba 2 EE Moreiró/Labruge; b) Período de Retorno de Investimentos Bomba 2 EE Moreiró Labruge

No caso da bomba 2 da EE de Moreiró/Labruge, conclui-se que a atual deve ser substituída pela bomba proposta pela Empresa B, dado que apresenta o tempo de retorno de investimento mais baixo, 3,9 anos apesar da bomba proposta pela Empresa A também ter um período de retorno de investimento inferior a 5 anos. A bomba proposta pela empresa A tem um maior benefício a nível de consumo energético, na ordem dos 837 €/ano.

Análise Global da EE

Tabela 16 - Tabela Análise global da EE Moreiró/Labruge

EE Moreiró /Labruge Total	Bomba 1 - proposta mais vantajosa	Bomba 2 - proposta mais vantajosa	Total
Economia Energética (€/ano)	-520,00	386,00	-134,00
PRI (ano)	12,3	3,9	6,8
Economia em Manutenção (€/ano)	1400,00	1300,00	2700,00
Investimento total (€)	10845,00	6601,35	17446,35

Ao analisar as duas bombas desta EE em conjunto, é possível concluir que apenas compensa substituir a bomba 2, pois o PRI de substituir ambas é superior a 5 anos.

5.4 EE Labruge

5.4.1 Bomba 1

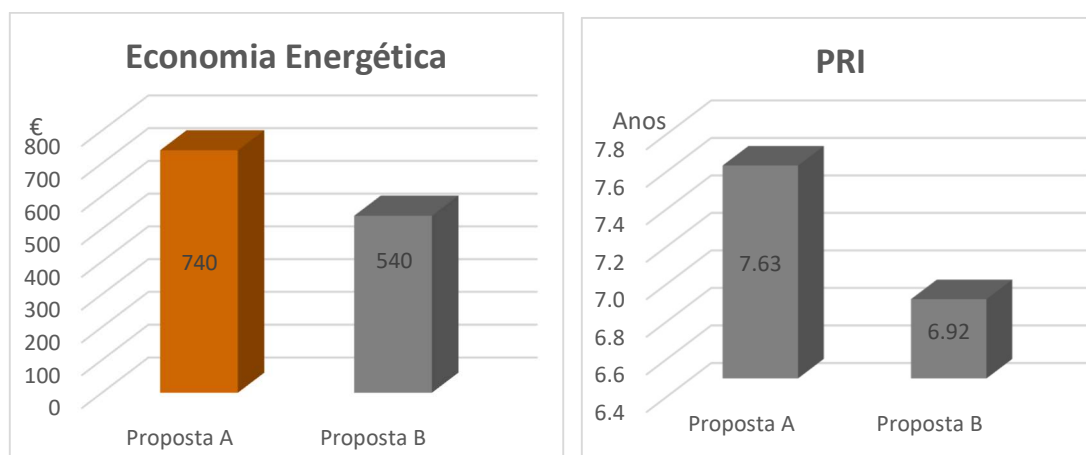


Figura 33 a) Economia Energética Anual Bomba 1 EE Labruge; b) Período de Retorno de Investimentos Bomba 1 EE Labruge

Analisando os resultados da bomba 1 EE de Labruge conclui-se que não é viável a substituição desta bomba pois o período de retorno de investimento de ambas as propostas, é superior a 5 anos, apesar da bomba proposta pela empresa A apresentar um benefício a nível do consumo energético de 740 €/ano.

5.4.2 Bomba 2

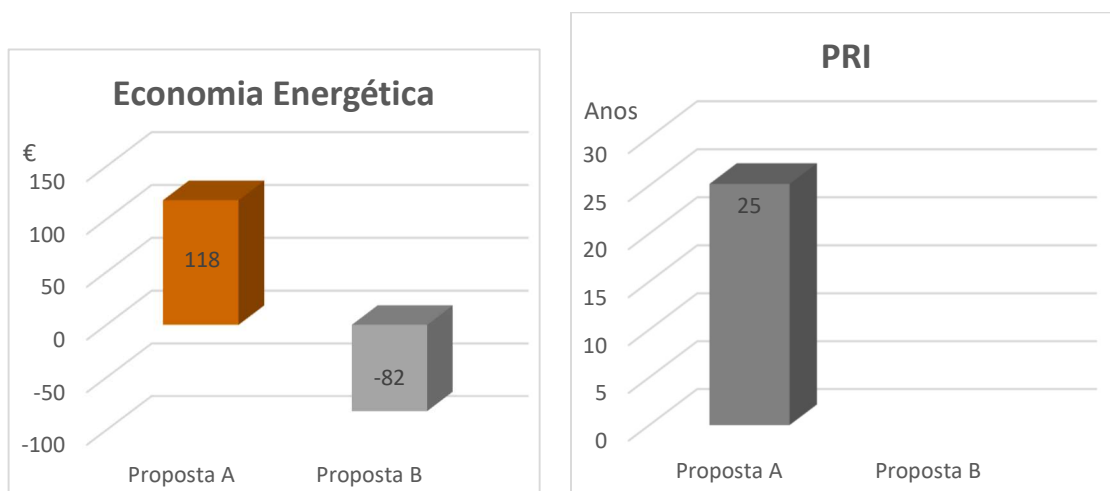


Figura 34 a) Economia Energética Anual Bomba 2 EE Labruge; b) Período de Retorno de Investimentos Bomba 2 EE Labruge

Relativamente à bomba 2, o período mínimo de retorno do investimento ascende aos 25 anos, considerando a proposta da empresa A. Tendo em conta o período de vida útil destes equipamentos e o tempo máximo aceitável do período de retorno de investimento, a substituição não é aconselhada. A bomba proposta pela empresa B consome muito mais energia que a bomba atual pelo que a substituição não é aconselhada. A bomba proposta pela empresa A apresenta um benefício a nível do consumo energético que ronda os 118 €/ano.

5.4.3 Bomba 3

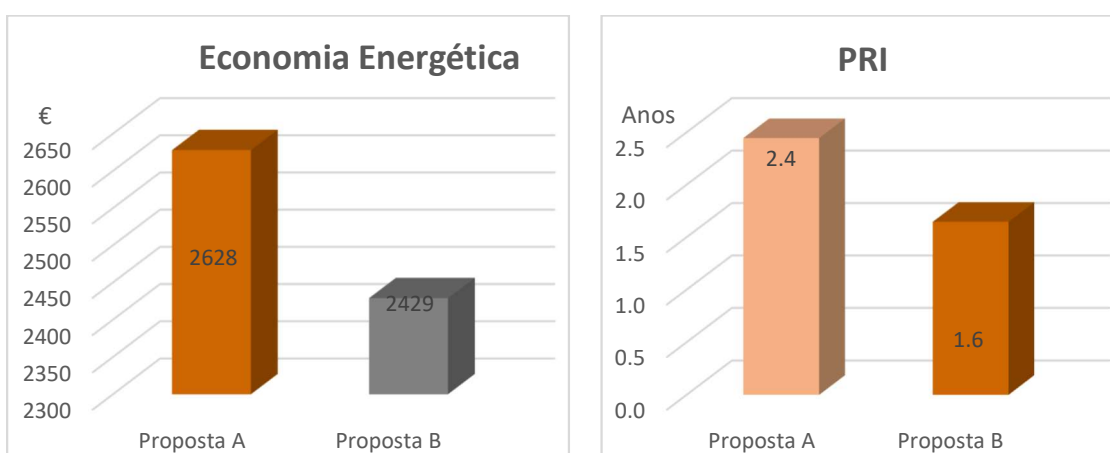


Figura 35 a) Economia Energética Anual Bomba 3 EE Labruge; b) Período de Retorno de Investimentos Bomba 3 EE Labruge

No caso da bomba 3 da EE de Labruge, conclui-se que a bomba atual deve ser substituída pela bomba proposta pela Empresa B, dado que apresenta um período de retorno de investimento inferior a 5 anos e inferior ao da bomba proposta pela empresa. Ambas as propostas apresentam uma poupança energética elevada, mas como o PRI da bomba proposta pela empresa B é inferior ao da bomba proposta pela empresa A a melhor opção é substituir a bomba atual pela bomba proposta pela empresa B.

Análise global desta EE

Tabela 17 - Análise global da EE Labruge

EE Labruge Total	Bomba 1 - proposta mais vantajosa	Bomba 2 - proposta mais vantajosa	Bomba 3 - proposta mais vantajosa	Total
Economia Energética (€/ano)	540,00	118,00	2429,00	3087,00
PRI (ano)	6,9	25,4	1,6	4,5
Economia em Manutenção (€/ano)	50,00	150,00	50,00	250,00
Investimento total (€)	4084,15	6795,00	4084,15	14963,30

Considerando as propostas mais vantajosas para cada uma das bombas, é possível concluir que a substituição das 3 bombas em conjunto é uma mais valia, pois o período de retorno de investimento é inferior a 5 anos.

CONCLUSÕES

6 Conclusões

Após a análise técnico financeira, conclui-se que é mais vantajoso fazer a substituição global, isto é, a substituição simultânea de todas as bombas que constituem cada EE.

Na Estação Elevatória de Vila do Conde, as bombas não devem ser substituídas, pois o período de retorno de investimentos é superior ao máximo aceitável.

Para a estação de Vila Chã, conclui-se que ambas as bombas devem ser substituídas pelas propostas pela Empresa B, pois o PRI é inferior a 5 anos. A bomba 1 apresenta um PRI de 4,3 anos e a bomba 2 de 2,9 anos. Caso as bombas sejam substituídas em conjunto, o PRI total é de 3,5 anos.

Analisando cada bomba da EE de Moreiró/Labruge, conclui-se que a bomba 1 não deve ser substituída e que a bomba 2 deve ser substituída. Se estas foram analisadas em conjunto, conclui-se que não devem ser substituídas pois o PRI é superior a 5 anos.

No caso da EE de Labruge, se a opção for substituir cada uma em momentos diferentes apenas a bomba 3 deve ser substituída pela bomba proposta pela empresa A, pois o PRI é de 1,6 anos. Analisando esta EE em termos globais, as três bombas podem ser substituídas em simultâneo pois o PRI total é de 4,5 anos, inferior ao PRI máximo aceitável.

Nos casos em que a substituição é vantajosa a nível económico é também benéfica a nível ambiental, não só por serem mais eficientes a nível energético, permitindo um menor consumo de energia elétrica, mas também por aumentarem a eficiência e eficácia de bombagem de águas residuais das estações elevatórias diminuindo o risco ambiental de descargas de águas residuais para o meio recetor.

A análise de dados deste trabalho teve muitas limitações no que à recolha de dados diz respeito, principalmente devido à ausência de *data loggers* que permitem a monitorização de dados de caudal e potência absorvida em contínuo e armazenagem de dados pelo que a alternativa foi a instalação de medidores portáteis em períodos

limitados de tempo o que não permitiu uma análise alargada das condições de funcionamento.

Este trabalho de análise técnica e económica foi validado pela Efacec na pessoa do Eng. Ivo Leite da Efacec, e será tomado em consideração na fase de tomada de decisão que vierem a ter lugar posteriormente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referências Bibliográficas

- [1] “Efacec - Quem Somos.” [Online]. Available: <https://www.efacec.pt/quem-somos/>. [Accessed: 20-Feb-2019].
- [2] “Efacec- Ambiente e Indústria,” 2017. [Online]. Available: <https://www.efacec.pt/ambiente-e-industria/>. [Accessed: 25-Feb-2019].
- [3] “Saneamento | Essencial para a saúde, para o ambiente e para a economia.” [Online]. Available: <https://www.quercus.pt/comunicados/2008/marco/1343-saneamento-essencial-para-a-saude-para-o-ambiente-e-para-a-economia>. [Accessed: 01-Oct-2019].
- [4] J. H. Pato, *História das políticas públicas de abastecimento e saneamento de águas em Portugal*, Entidade R. Lisboa, 2011.
- [5] J. A. de Faria, *Administração Sanitária*. Lisboa, 1934.
- [6] *Diário do Governo*. 1960.
- [7] D. Figueiredo, “Arranque e análise de funcionamento da Digestão Anaeróbia e da Cogeração da ETAR de Vila Franca de Xira,” Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2016.
- [8] Ministério do Ambiente, “Decreto-Lei nº 152/97,” 19 de Junho 1997. [Online]. Available: <https://dre.pt/pesquisa/-/search/365343/details/maximized>.
- [9] W. and P. E. Metcalf, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th ed. McGraw-Hill, New York*. 2003.
- [10] A. L. M. Mendes, “FITO-ETAR UMA ECO-TECNOLOGIA APLICADA AO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS: Análise do Comportamento Hidráulico,” Universidade Técnica de Lisboa, 2010.
- [11] R. P. S. de L. Luizi, “Operação de Sistemas de Tratamento de Águas Residuais por Lamas Activadas com Arejamento Prolongado,” Instituto Superior Técnico, 2012.
- [12] A. R. C. Pires, “Modelação da digestão anaeróbia da ETAR de Vila Franca de Xira com Redes Neurais Artificiais Engenharia Biológica Júri,” Instituto Superior

- Técnico de Lisboa, 2014.
- [13] Dinamica Ambiental, “O que é e como funciona uma estação elevatória de esgoto,” 2015. [Online]. Available: <https://www.dinamicambiental.com.br/blog/meio-ambiente/funciona-estacao-elevatoria-esgoto/>. [Accessed: 12-Mar-2019].
- [14] F. M. de Araújo, “Algumas Características de uma Estação Elevatória de Água,” Universidade Estadual da Paraíba, 2014.
- [15] P. L. C. DE ALMEIDA, “Optimização da Operação de uma Estação Elevatória. Minimização do Custo da Energia Respeitando Critérios de Qualidade da Água,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [16] EFAFLU Bombas e Ventiladores, “Centrais Elevatórias de Efluentes Série Ambibox.”
- [17] A. J. Macintyre, *Bombas e Instalações de Bombeamento*, 2ª Edição. 1987.
- [18] “A GERADORA Locação de Geradores de Energia e Equipamentos,” 2015. [Online]. Available: <https://www.ageradora.com.br/o-que-e-a-energia-eletrica/>. [Accessed: 02-Apr-2019].
- [19] Frank R. Spellman, *WATER & WASTEWATER INFRASTRUCTURE Energy Efficiency and Sustainability*. CRC Press, 2013.
- [20] “Potência,” 2015. [Online]. Available: <https://conceito.de/potencia>. [Accessed: 02-Apr-2019].
- [21] A. Oliveira, “Centro de Produções Técnicas Eletricidade: noções básicas.” .
- [22] J. Pacca, A. Fukui, M. C. Bueno, R. H. Costa, R. M. . Valério, and S. Mancini, “Corrente Elétrica e Circuito Elétrico: Algumas Concepções do Senso Comum,” vol. 20.
- [23] J. P. C. Erthal and A. Gaspar, “Atividades Experimentais de Demonstração para o Ensino da Corrente Alternada ao Nível do Ensino Médio,” vol. 23, 2006.
- [24] Indusmelec, “Variação de Velocidade,” Ramada.
- [25] Europump & the Hydraulic Institute, *Variable Speed Pumping: A Guide to Successful Applications*, 1st ed. Elsevier Science, 2004.
- [26] M. Kaltschmitt, *Renewable Energy Technology, Economics and Environment*. Spriger, 2007.
- [27] A. F. Jorge, “Eficiência Energética Sistema de Comunicação para Monitorar

- Consumos de Energia,” Universidade Nova de Lisboa, 2010.
- [28] L. de A. P. Filho, “Um Modelo de Operação de Sistemas Adutores de Abastecimento de Água com Vistas a Minimização dos Custos Energéticos,” Universidade Federal de Campina Grande, 2006.
- [29] “Águas do Norte - Grupo Águas de Portugal,” 2015. [Online]. Available: <http://www.adnorte.pt/pt/comunicacao/galeria/detalhe-galeria-imagens/?id=61&img=114&bl=16>. [Accessed: 19-Feb-2019].
- [30] Águas do Norte, “Anexo I- Caderno de Encargos.”
- [31] “Visitas à ETAR de Matosinhos,” 2018. [Online]. Available: http://www.cm-matosinhos.pt/frontoffice/pages/242?news_id=5477. [Accessed: 29-Mar-2019].
- [32] “POSEUR: com os portugueses para um Crescimento Sustentável. Ambiente em Matosinhos: ETAR- tratamento secundário,” 2017. [Online]. Available: <https://poseur.portugal2020.pt/pt/noticias/po-seur-com-os-portugueses-para-um-crescimento-sustentavel-ambiente-em-matosinhos-etar-tratamento-secundario/>. [Accessed: 29-Mar-2019].

ANEXOS

8.1 ANEXO I - VILA DO CONE

8.2 ANEXO II - VILA DO CONE

8.3 ANEXO III - VILA DO CONE

8.4 ANEXO IV - VILA DO CONE

7 Anexos

7.1 Anexo 1 – Vila do Conde

Tabela 18 - Especificações do Grupo Eletrobomba proposto pela Empresa A

Características da bomba	
Altura Manométrica	15,1 m
Caudal correspondente	711 m ³ /h
Rendimento da bomba	70,3%
Diâmetro do impulsor	278 mm
Saída de voluta	DN200
Características do motor elétrico	
Potência nominal	45 kW
Velocidade de rotação nominal	1475 rpm
Tensão nominal	400 V
Frequência	50 Hz
Número de pólos	4
Número de fases	3
Corrente nominal	79 A
Corrente de arranque	540 A
Classe de isolamento do estator	H
Classe de proteção	IP 68
Eficiência do motor com carga total	92,0%
Eficiência do motor a ¾ de carga	93,0%
Eficiência do motor a ½ de carga	93,0%
Materiais	
Corpo, Impulso, Motor	Ferro fundido GG25

Tabela 19 - Especificações do Grupo Eletrobomba proposto pela Empresa B

Características da bomba	
Altura Manométrica	15,35 m
Caudal correspondente	706 m ³ /h
Rendimento da bomba	76,1%
Diâmetro do impulsor	287 mm
Saída de voluta	DN200
Características do motor elétrico	
Potência nominal	46 kW
Velocidade de rotação nominal	1464 rpm
Tensão nominal	400 V
Frequência	50 Hz
Número de pólos	4
Número de fases	3
Corrente nominal	84 A
Corrente de arranque	460 A
Classe de isolamento do estator	F
Classe de proteção	IP 68
Eficiência do motor com carga total	89,0%
Eficiência do motor a $\frac{3}{4}$ de carga	89,0%
Eficiência do motor a $\frac{1}{2}$ de carga	86,0%
Materiais	
Corpo, Impulsor, Motor	Ferro fundido GG25

7.1.1 Bomba 1

Tabela 20 - Valores de potência da bomba 1 da EE de Vila do Conde provenientes do analisador de energia, medidos de minuto em minuto durante o dia 28 de fevereiro de 2019 após a eliminação dos valores inferiores a 75% do máximo registado

W Total	23156,95	21936,4	21291,85
23169,88	23164,77	21850,84	21233,88
23704,93	23498,07	20739,93	21544,28
23857,11	22883,8	21640,39	18504,1
23708,97	23579,17	21652,3	20593,33
23230,87	23417	20318,22	21659,7
23510,82	21915,51	21747,87	21481,56
23393,5	23557,98	21487	20508,22
23334,35	23579,02	20046,27	21360,14
23359,01	23406,91	20820,03	21448,73
23379,04	20270	21651,01	21504,3
23205,24	23113,48	21659,71	21663,18
22243	23202,19	21579,69	20694,17
23095,34	23038,74	21243,78	21385,1
23147,38	21941,57	21403,19	21321,66
23170,07	22025,43	21072,45	21342,36
22934,02	21821,54	21744,58	21304,68
23678,86	18951,96	18433,54	20401,54
23734,73	21463,36	21693,73	21378,19
23531,59	21221,58	21605,21	18983,47
22977,84	21355,05	21495,51	20988,19
22707,97	21549,4	21619,64	18542,31
23203,88	21689,01	21507,45	21366,58
23472,24	21515,71	21604,67	21215,83
22775,45	21423,86	20834,62	20713,58
23248,44	21862,36	21643,57	21355,93
23293,29	21672,31	21710,21	21270,36
20424,72	21986,95	21696,17	19400,87
22993,55	21897,6	21703,79	21353,58
23497,02	21755,52	21900,38	20539,56
23366,91	21928,36	21749,34	21224,48
21701,96	21795,3	21513,12	21162,87
20825,35	18416,02	21385,61	21241,11
23129,6	21857,61	19096,3	20801
23217,27	21947,11	21425,31	21405,54
23274,43	18332,48	21386,47	21255,8

21286,98	21229,42	21731,21	21636,5
21284,64	21422,1	21658,2	21923,77
20972,09	19839,21	21439,96	19972,41
20581,69	21300,63	21529,08	21742,35
21159,45	21598,24	21799,49	21716,89
21287,01	21558,04	21646,25	20950,63
21080,63	21769,83	21654,7	22413,97
21250,34	21495,16	21919,91	22652,51
21505,98	21077,41	18139,67	22457,34
18938,09			

7.1.2 Bomba 3

Tabela 21 - Valores de potência da bomba 3 da EE de Vila do Conde provenientes do analisador de energia, medidos de minuto em minuto durante o dia 28 de fevereiro de 2019 após a eliminação dos valores inferiores a 75% do máximo registado

W Total	17767,14	17839,64	17675,19
17721,35	17759,02	17748,36	17750,21
17650,69	17738,69	17812,76	17681,03
17663,84	17752,85	17685,35	17725,28
17851,44	17703,43	17715,23	17585,7
17852,84	17709,43	17727,58	17755,39
17852,09	17620,73	17787,32	17712,88
17771,28	17733,57	17734,08	17711,19
17794	17746,08	17780,98	17702,97
17783,51	17787,67	17734,48	17695,46
16813,42	17808,29	17770,79	17732,83
17198,83	17498,2	17720,76	17739,48
17023,29	17327,78	17712,56	17712,65
17145,27	17355,58	17749,38	17711,75
17184,64	17295,21	17702,46	17748,49
17103,01	17097,71	17728,17	17694,25
17148,48	17057,85	17691,88	17724,08
17062,35	17713,92	17753,48	17814,46
16908,97	17758,07	17725,79	17714,57
16904	17733,37	17774,6	17738,75
16825,77	17814,65	17632,22	17730,79
16981,58	17692,28	17593,33	17768,18
17111,78	17718,67	17679,21	17731,24

17661,75	17829,39	17849,13	17778,65
17620,6	17767,95	17768,06	16032,2
16915,8	17829,95	17765,01	17802,24
17759,05	17817,7	17789,27	17847,64
17805,3	17758,51	17852,2	17791,23
17790,76	17867,25	17871,99	17807,21
17839,32	17885	17877,57	17821,98
17851,29	17818,44	17868,38	17784,47
17754,27	17767,16	17822,13	17714,47
17737,29	17755,34	17839,59	16665,15
17820,04	17845,12	17833,78	17757,48
17762,98	17752,56	17815,15	17752,49
17730,02	17793,57	16697,7	17733,97
17699,32	17767,24	17818,77	17353,76
17584,94	17804,54	17832,73	17691,86
17754,13	17806,66	17720,2	17731,72
17756,82	17784,97	17776,04	17660,58
17883,65	17842,23	17781,3	17663,34
17806,4	17773,58	17758,36	17669,67
17839,7	17782,56	17689,25	17631,97
17803,62	17774,81	17745,87	17491
17799,14	17746,16	17843,78	17700,55
17897,67	16534,33	17730,42	17637,29
17861,14	17497,56	17708,83	17682,03
17863,09	17789,6	17770,21	17685,87
17768,57	17883,67	17789,3	17495,01
17783,07	17846,38	17677,66	17699,6
17780,12	17826,86	17676,92	17718,18
17824,8	17836,95	17856,33	17744,31
17787,91	17814,25	17727,69	17659,4
17836,06	17781,01	17776,29	17690,83
17788,62	17834,17	17846,36	17679,84
17900,48	17742,11	17789,23	17732,86
17760,92	17752,33	17772,6	17616,62
17860,97	16267,48	17811,8	17701,44
17770,75	17869,1	17814,39	16329,07
17786,24	17801,61	17684,56	17694,38
17779,38	17797,7	17743,99	17744,88
17838,23	17851,51	17821,38	17764,95
17773,8	17104,48	17810,45	17795,91
17857,25	17808,16	17684,89	17734,21

17778,97	17814,06	19131,5	17814,96
17780,25	17915,91	19405,52	17910
17727,07	17878,79	14797,15	17880,55
17796,86	17876,08	18820,68	18046,93
17786,92	17893,49	18545,71	17989,5
17795,84	17374,1	18467	17842,68
17771,86	17275,49	19066,66	17880,02
17832,15	17268,4	18582,23	18020,8
17746,19	17291,76	18361,3	17844,31
17817,28	17217,63	18448,33	18011,27
14829,41	17253,91	18476,83	17931,46
17912,52	17208,71	17164,21	17989,22
17740,21	15995,58	17879,84	17980,32
17891,46	17942,86	17809,57	17942,54
17950,95	17662,4	17830,33	18018,78
17809,29	17400,28	17306,87	17997,09
17812,93	17130	18107,84	17996,21
17835,22	15155,08	18375,23	18016,14
17959,15	16943,5	16733,43	17937,66
17879,84	17595,33	16711,65	17996,88
17875	17736,82	16457,67	17977,53
17852,03	17354,28	18141,43	17996,26
17868	17112,94	18114,63	18040,16
17918,39	17048,32	18144,08	17948,55
17634,73	17385,68	17613,44	17952,18
17919,14	17528,57	17639,16	17893,52
17989,52	16703,84	17409,93	17899,88
18017,19	17045,78	17366,34	17870,4
17942,73	16634,97	17368,07	17915,3
17951,48	16884,29	17297,74	17889,34
17934,02	17037,53	17419,91	17953,48
17929,57	14993,92	17382,91	18021,62
17963,74	17289,87	17752,54	17907,01
17971,59	17621,53	17445,5	17915,48
17950,82	15784,93	17220,32	17923,57
17927,94	19052,34	17120,16	17984,31
17839,4	16580,05	17105,04	17884,28
17898,26	18014,68	15328,05	17911,25
17906,65	17645,2	17904,56	17840,86
17941,49	18877,33	17847,03	17933,41
17916,15	19519,35	17825,09	16744,49

17072,56	17892,58	17904,7	17832,95
17905,63	17937,55	17974,78	17750,01
17933,25	17883,09	17957,38	17745,92
17908,22	17880,29	17966,06	17755,24
17926,46	17957,94	17786,67	17737,96
17947,72	17932,47	17836,98	17756,37
17899,06	17972,79	17890,15	17764,93
17765,16	17975,54	17821,73	17742,38
17819,57	17911,48	17831,58	17747,87
17898,02	17934,12	17838,91	17690,8
17851,35	17945,78	17855,89	17632,71
17847,52	17624,09	17936,23	17771,12
17935,24	17875,81	17883,58	17704,89
17911,65	17900,15	17584,81	17679,09
17945,38	17917,79	17823,46	17678,11
17951,48	17945,4	17830,08	17661,84
17858,25	17879,49	17661,32	17687,69
17969,95	17821,31	17714,95	17711,83
17839,57	17830,17	17749,48	17771,98
17940,94	17914,62	17854,6	14650,34
16571,6	17993,51	17749,54	17761,03
17981,01	17940,94	17709,88	17659,07
17995,25	17909,91	17835,21	17788,66
17981,54	17893,86	17765,2	17738,89
17895,5	17809,17	17823,36	17777,82
17925,59	18034,13	15069,88	17716,44
17907,11	18023,18	17755,96	14653,85
17847,47	18019,29	17703,85	16576,37
17895,6	17935,96	17774,08	17772,26
17869,82	16687,87	17712,15	17770,03
17893,99	17931,15	17806,39	17719,36
17928,03	17867,98	17779,12	17731,59
17960,74	17377	17809,45	17696,53
18011,22	17992,03	17869,73	17758,51
17969,83	17970,89	17814,32	17700,46
17892,34	18066,52	17735,61	17779,75
17959,56	17973,2	17769,59	17727,14
17913,87	18038,72	17783,46	17760,87
17875,56	17965,37	17881,63	17737,29
17920,89	17929,74	17033,35	
17891,56	17985,46	17808,34	

7.2 Anexo 2- Vila Chã

Tabela 22 - Especificações do Grupo Eletrobomba proposto pela Empresa A

Características da bomba	
Altura Manométrica	17,6 m
Caudal correspondente	433,6 m ³ /h
Rendimento da bomba	77,8%
Diâmetro do impulsor	297 mm
Saída de voluta	DN200
Características do motor elétrico	
Potência nominal	30kW
Velocidade de rotação nominal	1475 rpm
Tensão nominal	400 V
Frequência	50 Hz
Número de pólos	4
Número de fases	3
Corrente nominal	54 A
Corrente de arranque	360 A
Classe de isolamento do estator	H
Classe de proteção	IP 68
Eficiência do motor com carga total	90,5%
Eficiência do motor a ¾ de carga	91,5%
Eficiência do motor a ½ de carga	91,0%
Materiais	
Corpo, Impulsor, Motor	Ferro fundido GG25

Tabela 23 - Especificações do Grupo Eletrobomba proposto pela Empresa B

Características da bomba	
Altura Manométrica	17,6 m
Caudal correspondente	343 m ³ /h
Rendimento da bomba	81,2%
Saída de voluta	DN200
Características do motor elétrico	
Potência nominal	25kW
Velocidade de rotação nominal	1476 rpm
Tensão nominal	380-415 V
Frequência	50 Hz
Número de pólos	4
Número de fases	3
Corrente nominal	43 A
Corrente de arranque	381 A
Classe de isolamento do estator	H
Classe de proteção	IP 68
Eficiência do motor com carga total	88%
Eficiência do motor a $\frac{3}{4}$ de carga	88%
Eficiência do motor a $\frac{1}{2}$ de carga	86%
Materiais	
Corpo, Impulsor, Motor	Ferro fundido GG25

7.2.1 Bomba 1

Tabela 24 - Valores de potência da bomba 1 da EE de Vila Chã provenientes do analisador de energia, medidos de minuto em minuto durante o dia 28 de fevereiro de 2019 após a eliminação dos valores inferiores a 75% do máximo registado

W Total	22558,99	23779,61	23986,32
22137,33	21472,9	23518,92	24057,52
22140,74	16784,02	23289,25	23652,18
22167,6	23186,28	23289,35	23652,53
22207,78	16428,9	23577,88	23709,77
22192,14	18728,6	23622,16	23610,87
20115,35	20358,43	23618,43	23607,42
15172,35	22066,63	23590,69	23471,93
18863,28	16626,95	23520,15	23340,55
22074,71	17743,84	23724,45	23262,43
22027,41	22016,37	23796,87	23268,64
15639,94	17084,25	23746,43	23263,66
15494,94	18585,67	23670,79	23218,53
16618,73	21880,7	23619,15	23268,05
18118,03	21882,73	23640,33	23102,58
15945,93	22370,42	23696,19	23197,25
20992,43	22618,04	23710,84	23187,22
19510,72	22661,36	23703,96	23257,23
15317,88	18352,74	23672,43	23362,13
15221,74	22889,83	23698,17	23498,12
21586,75	22960,5	23703,08	22487,15
17838,44	23090,35	23815,41	21949,15
22032,55	23075,47	23918,98	21859,99
16187,25	23048,38	24036,56	21900,87
15707,64	23171,17	24001,27	21892,78
22081,14	23522,62	24073,83	21948,56
22151,03	23520,68	23922,64	21773,08
22227,34	23392,73	23822,54	21794,02
21868,54	23338,8	24014,13	21758,86
21688,65	23202,86	24194,54	21912,84
22487,59	23206,73	24122,28	21896,27
22622,6	23430,74	23781,8	21692,66
22576,64	23583,89	23662,38	21727,45
22122,54	23686,35	23591,8	21682,56
22168,53	23641,24	23865,06	21810,43
16682,43	23615,18	23864,99	21847,03

21764,02	15125,33	15065,03	15321,51
21649,72	22069,34	17908,29	16630,66
18317,08	22057,77	17795,79	17533,97
24551,22	22162,94	17616,87	15085,97
23712,92	22148,98	17006,83	15097,59
19065,89	22134,5	15460,88	15719,32
19735,56	22131,27	21823,54	17895,48
22320,9	21857,6	19594,85	22492,05
17971,81	16130,02	15041,85	16903,81
17994,92	22072,35	18647,72	22379,16
16319,33	20425,83	22445,35	22480,35
15053	19048,23	22423,97	16149,67
18050,13	17980,95	21768,98	15085,43
20088,05	16334,9	17834,53	16194,41
21936,63	19738,77	20730,02	15715,77
15059,21	22138,19	15159,01	

7.2.2 Bomba 2

Tabela 25 - Valores de potência da bomba 2 da EE de Vila Chã provenientes do analisador de energia, medidos de minuto em minuto durante o dia 28 de fevereiro de 2019 após a eliminação dos valores inferiores a 75% do máximo registado

W Total	22215,48	22116,93	22221,46
22099,73	22004,02	22140,11	21584,45
22081,57	15768,53	22081,48	21683,46
15263,77	21911,18	21933,99	15597,24
22033,54	19463,05	21765,89	22013,51
16390,1	22060,36	21070,32	22178,33
21951,7	17301,86	15820,79	18761,56
15734,82	20110,65	22234,96	20166,4
22075,49	17763,45	22246,31	22277,17
22013,41	21901,4	22191,67	21950,78
22162,58	21928,45	22190,18	22098,76
21681,54	22166,67	22195,99	17488,46
22099,68	20451,8	22153,62	21441,1
22099,61	22058,62	22142,29	18259,92
21974,32	17977,98	18185,71	19846,14
16879,39	18790	22147,62	21689,49

21138,25	17695,33	21945,4	22140,97
22005,81	21756,06	21925,41	22087,36
15502,11	16337,52	21956,2	22199,13
18810,8	20292,5	21861,61	16566,21
19939,31	22158,81	21902,97	22071,44
22056,94	22140,14	16188,82	20987,99
22007,09	22021,35	18467,6	21960,33
19481,39	22204,26	20584,46	21985,57
22246,39	18334,43	21859,38	17874,75
22098,53	22152,51	19054,82	21828,76
22112,7	21934,02	21966,15	19347,32
22142,44	22129,63	22114,39	22141,68
16121,45	21806,22	21048,86	15601,65
22237,37	21503,34	16866,34	22233,26
22353,44	22055,86	21550,73	22268,41
21821,1	18273,39	22205,47	22246,46
22211,61	22152,93	22241,01	22195,96
22180,77	22105,96	22248,46	22222,19
16749,72	22111,15	21663,81	22232,96
22219,76	17717,21	21999,96	22194,06
21971,06	22143,81	21916,9	22220,79
21988,28	22007,67	21889,69	22231,61
21938,51	22357,54	19159,77	22190,76
22136,79	22322,1	22001,44	22173,49
22131,9	21617,01	21659,04	21891,38
22146,99	22140,17	16603,7	16090,44
22173,93	15529,43	21898,3	21831,92
21927,26	21972,74	22041,62	18260,79
21983,23	21953,76	21823,23	21288
21942,31	20843,83	21886,66	22089,03
22174,6	20911,37	18490,97	21870,26
22204,81	19622,75	22044,58	21850,39
22196,56	22027,76	19318,35	21861,14
21396,49	22062,73	21947,27	20423,3
15306,29	22012,79	15735,87	21940,08
20842,15	22051,5	22364,4	20781,56
15486,85	22040,51	22017,96	22009,37
22164,15	22031,93	22203,18	20521,52
21673,88	21890,79	19104,37	21883,7
20469,77	21956,55	21569,49	18933,74
20984,07	21971,71	15990,64	16986,53

19169,01	21752,43	21836,45	22107,3
21744,36	18401,92	21913,4	22113,27
17468,64	21851,49	21929,95	22116,24
19115,23	21854,12	21940,65	22077,95
21938,92	21879,66	15288,74	22114,06
22255,54	21447,4	20741,65	22003
21821,09	21897,74	15194,74	22054,62
20597,87	19631	17766,11	20915,08
22167,99	21760,14	21944,47	21696,13
16778,06	21959,36	21946,24	16553,13
22039,35	21481,1	20490,69	20109,56
21769,78	21931,67	21765,56	18478,68
20730,47	16193,16	18182,9	15943,74
21721,08	21853,44	21928,44	21867,34
21981,05	15727,18	21093	22071,63
21657,62	21859,8	17776,82	21749,09
21971,93	15919,55	21885,64	22194,04
16056,47	21837,84	15314,45	22084,76
21852,2	17412,66	22009,99	19791,01
22093,82	21876,83	22069,63	15791,78
18971,14	16569,19	21833,5	22146
18844,67	21910,62	21924,89	16713,04
19835,08	21917,44	22031,09	16993,14
19504,41	21931,35	22077,6	22114,6
21898,1	18014,62	20588,5	22114,92
21998,79	21852,36	22188,98	22155,65
21904,42	20750,29	15530,47	17855,34
20143,48	15285,09	22237,44	22076,91
21634,35	21880,88	16444,73	21918,47
21856,11	21830,02	21512,08	22128,55
21827,24	21839,68	22295,91	21860,47
21563,8	21825,1	22274,87	21875,94
21853,11	21928,66	20079,09	22050,62
20613,78	22022,95	21386,8	22165,18
21804,23	19640,34	20352,97	18692,35
21604,04	21887,69	21950,81	21971
21549,76	21937,1	20641,44	21797,36
21415,15	21940,63	22281,39	18203,26
21694,18	21959,54	22259,29	22168,13
18397,08	15410,88	21853,98	22144,12
21849,08	21848,8	22215,9	21744,21

22122,8	21143,99	22117,61	20836,8
17049,17	20653,86	20070,72	22039,31
21984,31	22155,75	21987,42	22080,72
21948,58	17006,81	17220,34	22040,15
22017,85	22082,68	19455,07	21785,06
20155,2	22087,38	21655,36	22034,84
22057,23	22065,83	15217,81	16204,66
17131,85	22111,08	21927,07	21948,51
15304,3	22035,79	22088,68	20890
21947,45	22080,42	21337,33	22054,62
22150,01	15399,09	15081,74	22074,6
22002,75	19314,36	22121,74	21923,16
21939,34	22014,73	21488,72	21971,89
22059,19	17499,69	22094,16	19282,15
22095,29	21323,58	22113,54	18674,84
21473,33	21981,65	22040,15	16463,73
22034,85	22092,48	21680,5	22051,67
19146,49	22090,28	18278,73	22078,7
18448,16	21989,19	21432,54	20438,72
22571,49	16343,75	20331,68	21509,44
22456,48	20872,76	17715,43	21310,51
22395,42	22101,24	22043,03	16766,35
22425,7	22105,13	17888,14	22117,44
22082,49	19374,46	22136,86	15393,87
21158,38	16507,33	22106,57	
22065,79	21920,94	22113,91	

7.3 Anexo 3 – Moreiró/Labruge

Tabela 26 - Especificações do Grupo Eletrobomba proposto pela Empresa A

Características da bomba	
Altura Manométrica	17,5 m
Caudal correspondente	538,8 m ³ /h
Rendimento da bomba	77,8%
Saída de voluta	DN200
Características do motor elétrico	
Potência nominal	30kW
Velocidade de rotação nominal	1475 rpm
Tensão nominal	400 V
Frequência	50 Hz
Número de pólos	4
Número de fases	3
Corrente nominal	54 A
Corrente de arranque	360 A
Classe de isolamento do estator	H
Classe de proteção	IP 68
Eficiência do motor com carga total	90,5%
Eficiência do motor a $\frac{3}{4}$ de carga	91,5%
Eficiência do motor a $\frac{1}{2}$ de carga	91%
Materiais	
Corpo	Ferro fundido GG25
Impulsor	Ferro fundido GG25
Motor	Ferro fundido GG25

Tabela 27 - Especificações do Grupo Eletrobomba proposto pela Empresa B

Características da bomba	
Altura Manométrica	17,52 m
Caudal correspondente	401,7 m ³ /h
Rendimento da bomba	69,3%
Diâmetro do impulsor	314 mm
Saída de voluta	DN200
Características do motor elétrico	
Potência nominal	34kW
Velocidade de rotação nominal	1482 rpm
Tensão nominal	400 V
Frequência	50 Hz
Número de pólos	4
Número de fases	3
Corrente nominal	67 A
Corrente de arranque	460 A
Classe de isolamento do estator	F
Classe de proteção	IP 68
Eficiência do motor com carga total	89%
Eficiência do motor a $\frac{3}{4}$ de carga	87%
Eficiência do motor a $\frac{1}{2}$ de carga	84%
Materiais	
Corpo, Impulsor, Motor	Ferro fundido GG25

7.3.1 Bomba 1

Tabela 28 - Valores de potência da bomba 1 da EE de Moreiró/Labruge provenientes do analisador de energia, medidos de minuto em minuto durante o dia 28 de fevereiro de 2019 após a eliminação dos valores inferiores a 75% do máximo registrado

W Total	17,84863	20,97481	19,65249
20,05088	18,86259	18,31561	17,70892
20,97259	17,89773	20,17385	21,58624
20,81711	17,83252	20,35052	22,9648
23,01008	21,17714	20,75561	22,99304
21,25036	23,10888	19,75066	20,08682
19,40007	23,10791	20,65582	19,03422
19,93862	22,4139	20,32385	20,88605
22,69422	21,83779	20,03129	18,3879
23,24506	23,15306	20,38146	23,28702
18,42129	20,84281	21,71108	23,13024
20,69274	23,32452	18,82652	23,09884
19,12564	23,35299	20,04601	18,94591
18,63469	23,21801	18,72458	21,89642
19,10331	21,63035	20,49319	18,37882
21,13864	20,65281	23,25845	21,70398
21,11792	22,47636	19,04758	22,36427
18,12324	20,54233	23,14792	23,10898
21,56261	19,49321	20,55598	23,1008
19,91127	18,03955	18,39934	18,80285
22,13002	23,32847	19,06999	22,98516
19,77591	23,22341	21,50182	23,02077
23,23607	22,75257	20,05982	19,93933
23,29774	19,6445	21,62856	19,18358
20,65642	22,54842	23,14289	22,05062
19,16408	18,7997	19,97441	23,09565
23,3968	21,24595	17,6134	20,41205
18,64388	17,56185	23,05857	19,2312
18,31894	20,55266	22,98617	23,04989
18,19426	20,30853	22,32768	22,47485
17,60458	21,97111	19,13766	
	19,11794	18,47436	

7.4 Anexo 4 – Labruge

Tabela 29 - Especificações do Grupo Eletrobomba proposto pela Empresa A

Características da bomba	
Altura Manométrica	14,4 m
Caudal correspondente	337,9 m ³ /h
Rendimento da bomba	78%
Diâmetro do impulsor	278 mm
Saída de voluta	DN150
Características do motor elétrico	
Potência nominal	18,5kW
Velocidade de rotação nominal	1460 rpm
Tensão nominal	400 V
Frequência	50 Hz
Número de pólos	4
Número de fases	3
Corrente nominal	36 A
Corrente de arranque	225 A
Classe de isolamento do estator	H
Classe de proteção	IP 68
Eficiência do motor com carga total	88%
Eficiência do motor a $\frac{3}{4}$ de carga	89,5%
Eficiência do motor a $\frac{1}{2}$ de carga	89,5%
Materiais	
Corpo, Impulsor, Motor	Ferro fundido GG25

Tabela 30 - Especificações do Grupo Eletrobomba proposto pela Empresa B

Características da bomba	
Altura Manométrica	14,11 m
Caudal correspondente	325,2 m ³ /h
Rendimento da bomba	74,3%
Saída de voluta	DN150
Características do motor elétrico	
Potência nominal	19,3kW
Velocidade de rotação nominal	1480 rpm
Tensão nominal	380-415 V
Frequência	50 Hz
Número de pólos	4
Número de fases	3
Corrente nominal	39-36 A
Corrente de arranque	381 A
Classe de isolamento do estator	H
Classe de proteção	IP 68
Eficiência do motor com carga total	88%
Eficiência do motor a $\frac{3}{4}$ de carga	87%
Eficiência do motor a $\frac{1}{2}$ de carga	84%
Materiais	
Corpo, Impulsor, Motor	Ferro fundido GG25

7.4.1 Bomba 1

Tabela 31 - Valores de potência da bomba 1 da EE de Labruge provenientes do analisador de energia, medidos de minuto em minuto durante o dia 28 de fevereiro de 2019 após a eliminação dos valores inferiores a 75% do máximo registado

W Total	18941,42	16648,74	18933,33
18973,73	18878,83	18981,62	18938,47
18977,85	18936,68	18988,5	18843,63

18841,16	18942,03	19251,49	19571,51
18830,68	19002,33	19317,53	19974,98
18808,99	18960,87	19278,88	19464,29
18380,78	19339,95	19598,1	19588,26
18829,16	19188,22	19569,49	19555,09
18902,15	19209,29	19536,81	19505,78
18794,84	19242,31	19579,15	19510,66
18785,83	19183,91	19929,37	18943,58
18809,96	19211,9	19813,08	18976,92
18775,78	19225,7	19678,93	18955,32
18921,51	19205,37	17755,36	18803,46
18893,36	19209,53	19715,53	18853,62

7.4.2 Bomba 2

Tabela 32 - Valores de potência da bomba 2 da EE de Labruge provenientes do analisador de energia, medidos de minuto em minuto durante o dia 28 de fevereiro de 2019 após a eliminação dos valores inferiores a 75% do máximo registado

W Total	17150,2	17729	17324,4
17598,3	17229,7	17357,8	17237,5
16479,3	17743,4	17354,7	17146,1
18213,9	18695,1	17254,7	17179,9
18527,4	18984	17273,4	17093,6
18509,8	19489,3	17276	17053,8
19310	19916,3	17253,9	17545,4
17542,7	20101,5	17195,1	17312
17331	19703,3	17202,5	17234,4
16160,7	19132,8	18012,2	17312,8
17143	19147,7	18026,7	17231,3
17105,7	20070,2	17949,6	17185,8
17104,3	21364,6	17895,2	17163,5
17242,4	21017,7	17162,2	17119,9
17240,9	20529,5	17180,3	17063,5
17231,7	20283,3	17153,9	17072
17221,1	20366,2	17943,6	17178,4
17207,9	17391,8	17939,1	17061,5
17255,7	17279,5	17736	17021,4
17207,9	18072,6	17139,2	16958
17973,6	17931,7	17588	17214,8

17121,3	16903,6	17615,9	18185,1
17101,5	17245,9	18072,1	18089,9
17061,5	17212,7	19007,2	18541,4
17031,2	17166,7	18463,4	18569,4
17241,1	17151,5	18453,3	18450,3
17308,1	17174,7	18438	18400
17397,5	17185,3	16887,4	17848,3
17403,8	17150,7	18491,1	17804
17329,9	17396,1	18347,8	18521,5
17298,9	17197,5	18587,5	18477,9
17281,9	17944,1	18557,3	18128,3
17196,1	17272	18184,1	17342,3
17246,2	17314,9	18119,6	16951,2
17216,6	17252,9	18424,3	16946,4
17188,4	17922,4	18397,9	18121,2
17283	17995,7	19011,4	17765,9
17267,4	17886,1	19367,9	17793,6
17183,3	17864,9	17338,6	17841,6
17300,9	17774,5	18196	
17275,1	17712,8	18184,5	

7.4.3 Bomba 3

Tabela 33 - Valores de potência da bomba 3 da EE de Labruge provenientes do analisador de energia, medidos de minuto em minuto durante o dia 28 de fevereiro de 2019 após a eliminação dos valores inferiores a 75% do máximo registado

W Total	21918,1	22947,8	21482,6
25841,5	22734	22821,4	23483,9
21491,3	23874,9	22752,4	23468,7
21518,3	23795,3	24101,9	23471,5
21410,3	23835	23898,2	22804,4
21113,5	22973,8	21725,6	22341,4
27340,4	22624,5	23920,1	21848,8
22143,6	22828,8	23439	21165
21254,6	22942,7	23205,3	
22311,2	22734	23046,4	